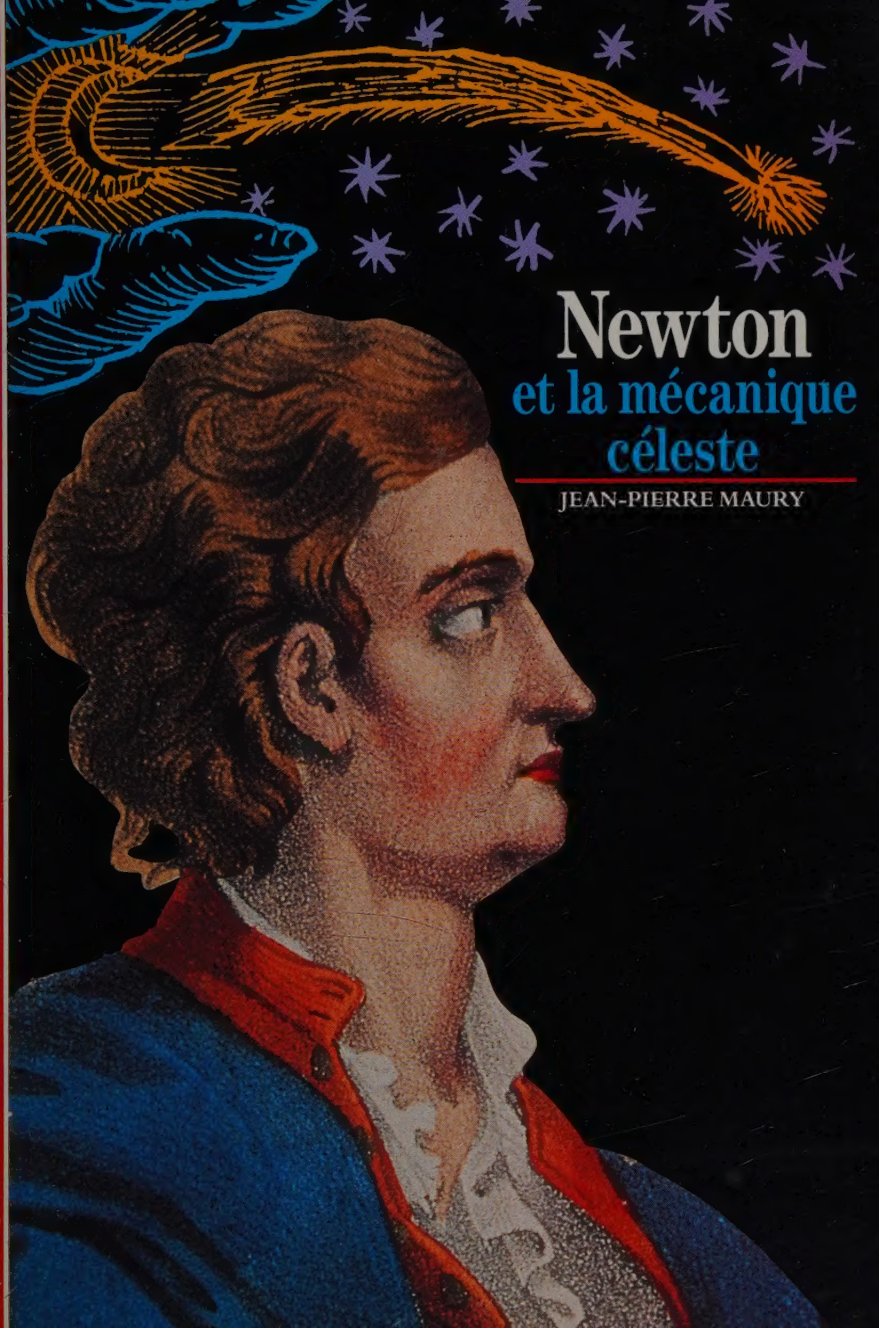


Newton
et la mécanique céleste

JEAN-PIERRE MAURY

JEAN-PIERRE MAURY

DÉCOUVERTES GALLIMARD

«Quel est l'être intelligent,
quel est l'être accessible aux émotions
inspirées par la contemplation du beau,
qui pourrait regarder,
même dans une lunette
de très faible puissance,
les dentelures argentées
du croissant lunaire
tremblant dans l'azur,
sans éprouver l'impression
la plus vive et la plus agréable,
sans se sentir transporté
vers cette première étape
des voyages célestes
et détaché des choses vulgaires de la Terre ?
Quel est l'esprit réfléchi qui pourrait voir
sans admiration le brillant Jupiter
accompagné de ses quatre satellites,
ou le splendide Saturne
marchant entouré de son anneau mystérieux,
ou un double soleil écarlate et saphir
se reflétant au milieu de la nuit infinie?

Ah ! si les hommes savaient,
depuis le modeste cultivateur
des champs,
depuis le laborieux ouvrier
des villes,
jusqu'au professeur, jusqu'au rentier,
jusqu'à l'homme élevé au rang
le plus éminent de la fortune
ou de la gloire,
et jusqu'à la femme du monde
en apparence la plus frivole ;
oui, si l'on savait quel plaisir
intime et profond
attend le contemplateur des cieux,
la France, l'Europe entière,
se couvrirait de lunettes
au lieu de se couvrir
de baïonnettes,
au grand avantage de la paix
et du bonheur universels. »

Camille Flammarion, 1880

Jean-Pierre Maury est né le 23 septembre 1937. Maître de conférence en physique à l'Université de Paris-VII, il a publié plusieurs manuels de physique et de nombreux ouvrages de vulgarisation scientifique, notamment, dans la collection «Découvertes Gallimard», *Galilée, le messager des étoiles* (1986) et *Comment la terre devint ronde* (1989).

Tous droits de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays
© Gallimard 1990

Dépôt légal : octobre 1990
Numéro d'édition : 49128
ISBN : 2-07-053116-3
Imprimerie Kapp-Lahure-Jombart, à Evreux

NEWTON
ET LA MÉCANIQUE CÉLESTE

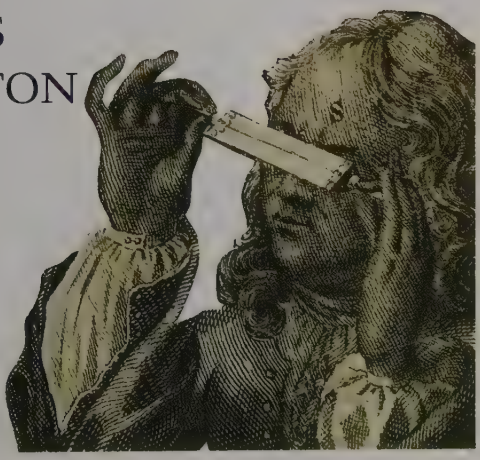
Jean-Pierre Maury

DÉCOUVERTES GALLIMARD
SCIENCES

En juin 1665, à cause de la peste qui étend ses ravages, l'université de Cambridge ferme ses portes et renvoie chez eux étudiants et professeurs. Parmi eux, un jeune homme de vingt-trois ans, tout juste diplômé : Isaac Newton. Il va passer un an dans le calme de sa campagne natale, une année tellement riche de découvertes que les historiens l'appelleront «Annus mirabilis» : l'année merveilleuse.

CHAPITRE PREMIER

LES VACANCES D'ISAAC NEWTON

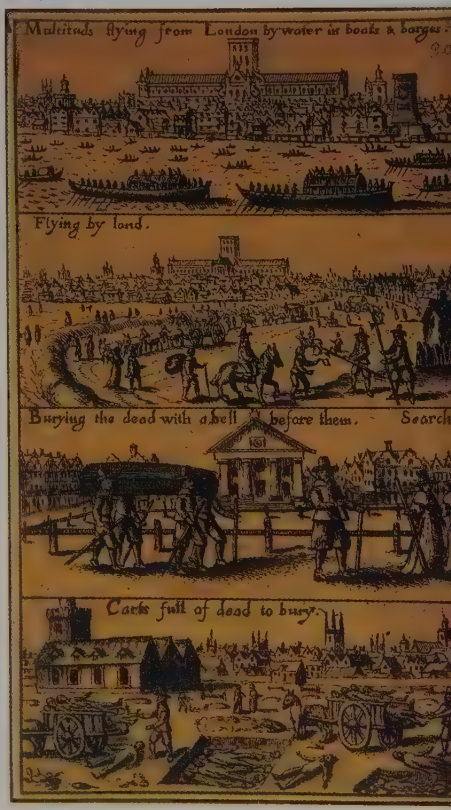


C'est dans cette maison du Lincolnshire, à mi-chemin entre Londres et l'Ecosse, que Newton a passé un an de vacances forcées, les plus fructueuses, sans aucun doute, de l'histoire des sciences.

Isaac Newton naît le jour de Noël, le 25 décembre 1642, l'année de la mort de Galilée. Son père est décédé quelques mois auparavant. Deux ans plus tard, sa mère se remarie, et s'installe au village voisin, laissant le jeune Isaac aux soins de sa grand-mère, dans le domaine de Woolsthorpe, qui appartenait à sa famille depuis deux cents ans.

Quand Newton a quatorze ans, sa mère, veuve une seconde fois, revient vivre à Woolsthorpe avec les trois enfants de son second mariage. Elle retire bientôt Isaac de l'école, pour qu'il apprenne à gérer le domaine, mais le jeune homme ne manifeste aucun goût pour les affaires : il partage son temps entre ses livres et d'ingénieux bricolages, des maisons de poupée pour ses petites sœurs, un moulin à vent miniature ou une horloge à eau qui fonctionnera pendant des années... Aussi sa mère décide-t-elle de lui faire reprendre l'école et à dix-huit ans il est admis à Trinity College, à l'université de Cambridge. Il aura juste le temps d'y achever ses études avant que la peste l'en chasse, et le renvoie pour dix-huit mois à Woolsthorpe.

La grande peste de 1665 a fait, à Londres seulement, plus de 70 000 victimes. Ces gravures populaires de l'époque montrent les Londoniens fuyant leur ville par tous les moyens, tandis que passent les cortèges funèbres et que les corps s'empilent par charrettes entières.



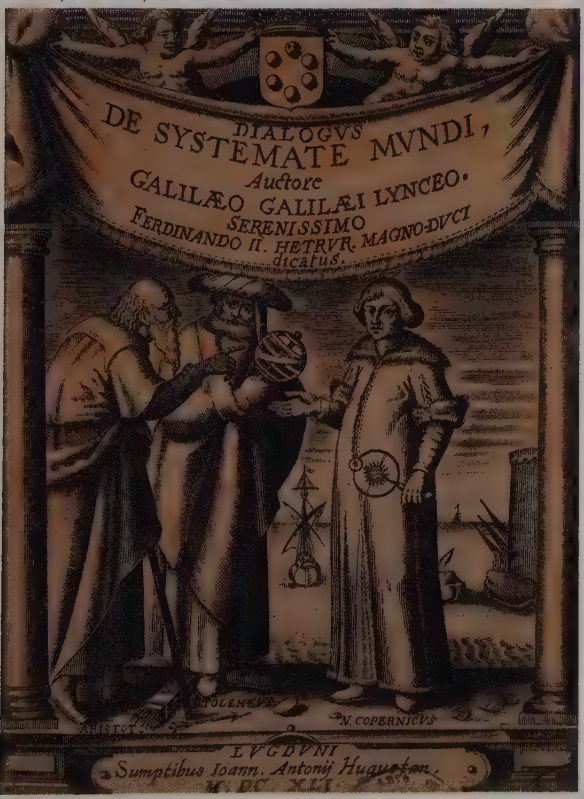
A la campagne, Newton continue les expériences qu'il a commencées à Cambridge sur la lumière

Depuis 1664, Newton note dans des carnets ses lectures, ses expériences et ses idées. Nous savons ainsi qu'il réfléchit sur les *Dialogues* de Galilée, sur la *Géométrie* de Descartes et sur les travaux de Kepler, en particulier au sujet de la lumière et du problème des couleurs.

A cette époque, on sait depuis longtemps qu'un prisme de verre «donne des couleurs» à un rayon de soleil qui le traverse. Cette expérience du prisme est déjà

représentée dans le livre de Giambattista della Porta, *De Refractione*, qui paraît à Naples en 1558. Mais l'explication de ces couleurs repose encore sur les très vieilles idées d'Aristote : la lumière est blanche, et les couleurs naissent progressivement de son affaiblissement.

La lumière rouge et la lumière jaune, couleurs de la flamme, sont les moins affaiblies. Viennent ensuite, de plus en plus «chargés de noir», le vert, le bleu et le violet.



Ioannis Keppleri

HARMONICES MVNDI

LIBRI V. QVORVM

Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportiones Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.

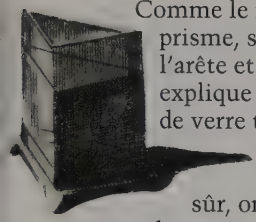
Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGVRATA, De Figurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:

Tertius propriè HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum ortu ex Figuris; deque Naturâ & Differentiis rerum ad cantum pertinentium, contra Veteres:

Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ASTROLOGICVS, De Harmoniarum mentali Essentiâ earumque generibus in Mundo præsertim de Harmonia radiorum, ex corporibus cœlestibus in Terram descendentibus, eiusque effectu in Natura seu Anima sublunari & Humana:

Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissimis motuum cœlestium, ortuque Eccentricitatum ex proportionibus Harmonicis.

Voici deux des livres de chevet du jeune Newton : le *Traité* de Kepler (1609), et surtout les *Dialogues* de Galilée (1632). Le premier contient, au milieu d'une foule de considérations géométriques, esthétiques et métaphysiques, les trois lois du mouvement des planètes, lois que Newton sera le premier à retrouver par la démonstration. Quant au second, qui a valu à Galilée sa condamnation, il a été accueilli dans toute l'Europe comme le manifeste de l'astronomie moderne : enfin débarrassés de la «perfection céleste», les astres vont dorénavant se prêter au raisonnement physique.



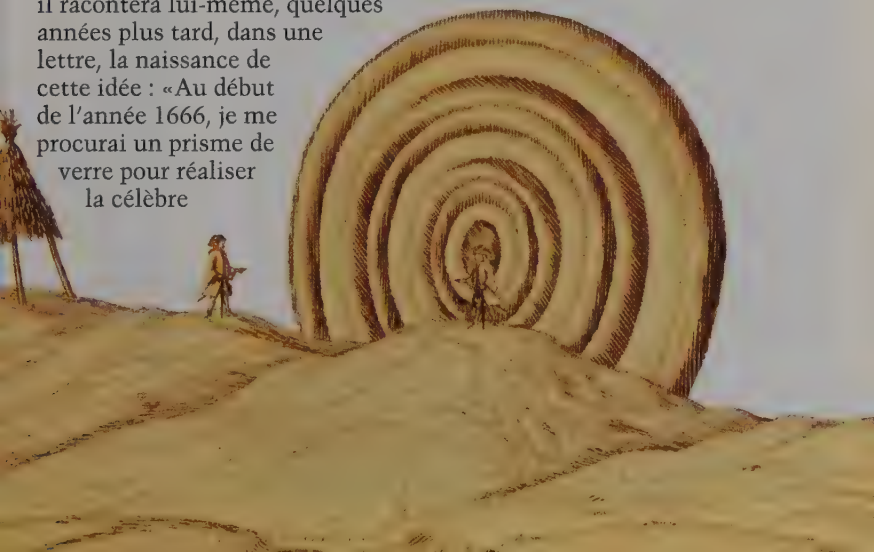
Comme le rayon blanc, en traversant le prisme, se colore de rouge du côté de l'arête et de bleu du côté de la base, on explique cette différence par l'épaisseur de verre traversée : ayant traversé plus de verre, le rayon du bas est plus affaibli, et se colore de bleu. Bien sûr, on sait déjà que l'arc-en-ciel est dû à un phénomène du même genre, où les goutelettes d'eau remplacent le prisme, et on l'explique de la même façon.

Newton réfléchit à tout cela, et d'abord il reprend ces explications, en essayant seulement, comme l'a fait Descartes, d'aller plus loin, en cherchant des raisons mécaniques (ralentissement par le verre, par exemple) à cet «affaiblissement de la lumière». En même temps, il essaie de tailler des lentilles suivant des formes qui éviteraient cette coloration. Puis, un nouveau carnet parle de «rayons bleus» et de «rayons rouges»...

Newton trouve l'explication : la lumière «blanche» est un mélange de lumières de toutes les couleurs...

... Et le prisme les dévie différemment. Voici comment il racontera lui-même, quelques années plus tard, dans une lettre, la naissance de cette idée : «Au début de l'année 1666, je me procurai un prisme de verre pour réaliser la célèbre

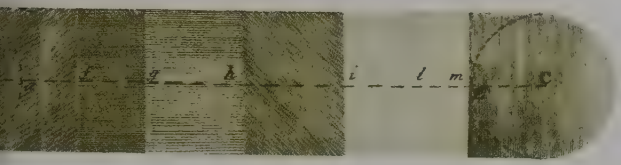
L'arc-en-ciel, sous toutes ses formes, a toujours intrigué les hommes, et on lui a longtemps prêté des qualités surnaturelles. Depuis la Renaissance, il est devenu un sujet d'étude pour les savants, mais ici encore Newton sera le premier à fournir une explication correcte. Ces deux gravures illustrent le phénomène dans deux situations exceptionnelles, où l'observateur domine les gouttelettes d'eau qui dispersent les couleurs, soit parce que ces gouttelettes sont produites très localement par une cascade, soit parce que l'observateur se trouve très haut (ci-contre, dans les Andes).



expérience des couleurs. Ayant à cet effet obscurci ma chambre, et fait un petit trou dans les volets, pour laisser entrer une quantité convenable de rayons de soleil, je plaçai mon prisme contre ce trou, pour réfracter les rayons sur le mur opposé. Ce fut d'abord très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites. Mais au bout d'un moment, je me mis à les examiner plus soigneusement…»

Il remarque d'abord que la tache lumineuse n'est pas seulement colorée, elle est aussi très allongée : la

Newton a vingt-quatre ans au moment où il découvre que la lumière «blanche» du soleil est un mélange de lumières de toutes les couleurs, mélange que le prisme étale et disperse.



Ce dispositif est beaucoup plus élaboré que celui dont disposait Newton dans sa chambre de Woolsthorpe : un simple trou dans les volets, un prisme, et le mur d'en face en guise d'écran pour recevoir le spectre...

«partie bleue» est plus déviée par le prisme que la «partie rouge». Peut-être cela vient-il d'un défaut du prisme? Comment le savoir? Newton a l'idée d'appliquer derrière le prisme un autre prisme, à l'envers : leurs déviations doivent se compenser, mais pas leurs défauts... Or, la tache est maintenant ronde et blanche : c'est qu'il n'y a pas de défauts.

De fil en aiguille, Newton arrive bientôt à ce qu'il appelle l'expérience «cruciale» : à l'aide d'un trou dans une planchette, il isole la partie bleue de la tache produite par le prisme, et il envoie cette lumière bleue sur un second prisme. Elle est déviée, certes, mais pas étalée, ni colorée autrement!

Cette fois, Newton est sûr d'avoir trouvé : la lumière «blanche» du soleil est un mélange de lumières de toutes les couleurs, et le prisme dévie différemment ces diverses lumières. Dès lors, Newton multiplie les expériences, montrant en particulier de plusieurs manières que l'on peut refaire de la lumière «blanche» en mélangeant des lumières de couleur!

Curieusement, Newton garde le silence sur son extraordinaire découverte

Cette réticence a certainement plusieurs explications. D'abord, Newton est encore étudiant. Il sait qu'une découverte aussi révolutionnaire va soulever l'hostilité des professeurs. Nous verrons d'ailleurs qu'il la publiera cinq ans plus tard, une fois devenu professeur lui-même, et reconnu

par ses collègues grâce à son invention du télescope à miroir.

Il en sera de même toute sa vie : c'est toujours à contrecœur, contraint et forcé, que Newton rendra publiques ses découvertes. Sans doute est-il soucieux d'accumuler d'abord expériences et preuves. Mais surtout, il est d'un tempérament solitaire et timide, il craint la controverse, le bruit et la fureur des discussions... bref, il est à l'opposé du joyeux bagarreur qu'était Galilée.

Et si sa découverte du mélange des lumières doit rester secrète pendant cinq ans, c'est vingt ans que devra patienter une découverte plus importante encore, certainement le fruit le plus merveilleux de «l'année merveilleuse» 1665-1666 : la gravitation, l'attraction universelle...

Newton regarde la pomme et la Lune... et découvre le ressort du monde

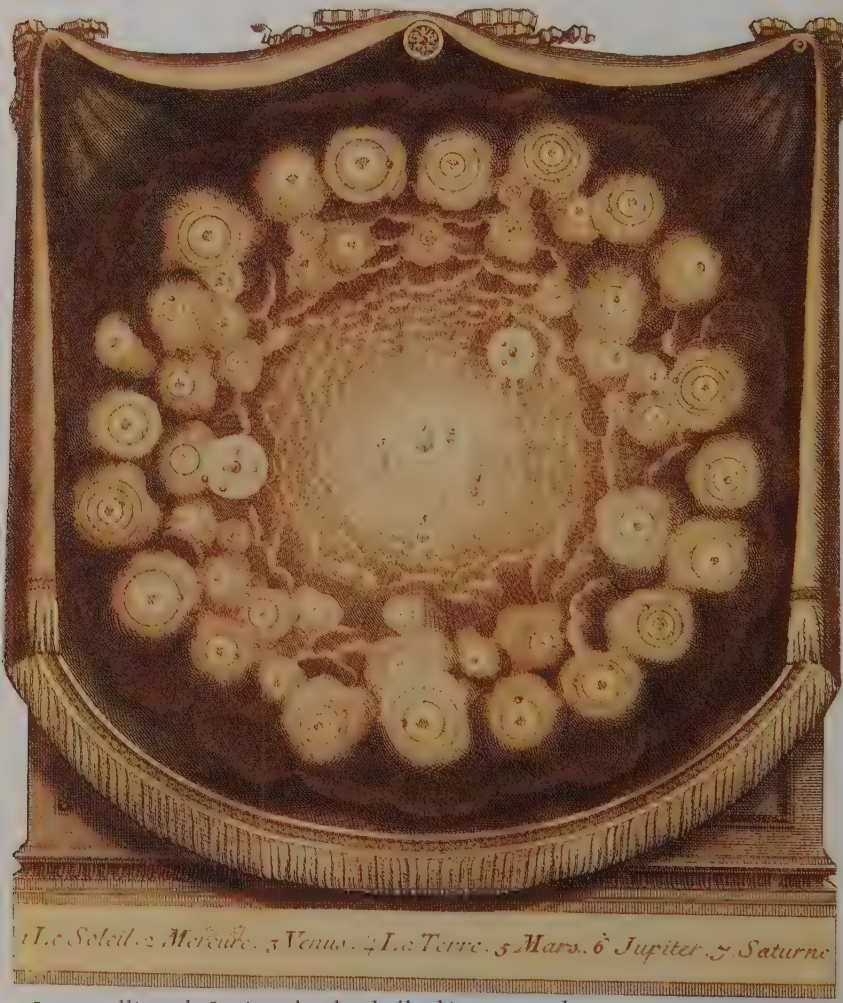
Comme c'est souvent le cas pour les petits éclairs qui sont à l'origine des grands bouleversements, la naissance de l'idée d'attraction universelle a pris la forme d'une petite histoire, sans doute une fable, mais sait-on jamais...

Dans la douceur d'une soirée d'automne, Newton rêve sous un pommier de Woolsthorpe, en regardant la Lune... Soudain, une pomme tombe. Car tout ce qui est privé de support tombe sur la Terre. Et la Lune? Elle n'a pas de support : pourquoi ne tombe-t-elle pas? En un éclair, Newton «voit» la réponse : elle tombe!

La pomme joue décidément un grand rôle dans les affaires des hommes : elle a causé la chute de notre mère Eve, puis, offerte à Aphrodite par Pâris, elle a déclenché la guerre de Troie, enfin, placée sur la tête du jeune Tell, elle a libéré la Suisse. Quant à Blanche-Neige... La pomme de Newton est sans doute – après celle d'Eve, bien sûr – celle qui a le plus inspiré les illustrateurs, soit que le savant anglais la reçoive sur la tête, comme chez l'irrévérencieux Gotlib, soit qu'il médite devant elle, comme sur cette gravure du XIXe siècle... Mais de toute façon, le problème n'était pas tant d'observer la pomme que de la comparer à la Lune.

La Lune tombe vers la Terre. Sinon, elle continuerait tout droit, et disparaîtrait dans l'infini. Puisque sa trajectoire s'incurve vers la Terre, c'est qu'elle tombe, mais sa «vitesse en travers» est si grande que sa chute incurve juste assez sa course pour la maintenir à la même distance de la Terre : elle tombe indéfiniment, en décrivant autour de la Terre un cercle qui la maintient toujours à la même distance, dans le même état de chute permanente!

Or, si la Lune tourne autour de la Terre, la Terre tourne autour du Soleil, ainsi que les autres planètes.



Les satellites de Jupiter, la plus belle découverte de Galilée, tournent autour de leur planète. Titan, le satellite de Saturne que vient de découvrir Huyghens, tourne autour de Saturne... La valse immense du système solaire aurait-elle la même origine, la même explication que la chute d'une pomme dans le verger de Woolsthorpe, un soir d'automne?

Les contemporains de Newton sont incapables d'expliquer l'origine des comètes

Nous sommes en 1665. Il y a un peu plus de cent vingt ans que Copernic a publié son système du monde, où les planètes tournent autour du Soleil. Il y a cinquante ans que Kepler a déterminé les lois qui décrivent leurs mouvements. Il y a trente ans que Galilée a été condamné pour avoir rendu tout cela palpable, grâce aux découvertes que lui a permises sa lunette...

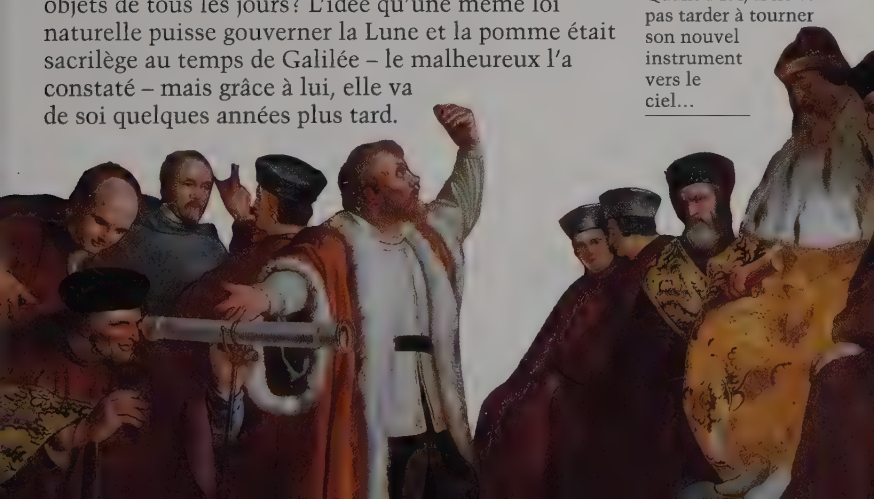
Et Galilée a fait quelque chose de bien plus important encore – et de bien plus condamnable, du point de vue de ses juges : il a enfin brisé la barrière, édifiée depuis deux mille ans entre la Terre et le ciel.

Pendant deux mille ans, en effet, l'astronomie et la physique ont été séparées. Depuis l'époque de Platon et d'Aristote, il était interdit de chercher des causes naturelles aux mouvements des corps célestes, mouvements considérés comme «parfaits», de même que ces corps eux-mêmes.

En montrant que la Lune a des montagnes et le Soleil des taches, Galilée a cassé cette «perfection». Terreuse comme la Terre, la Lune n'est pas plus parfaite qu'elle. Pourquoi son mouvement devrait-il l'être, et échapper aux causes qui rendent mobiles les objets de tous les jours? L'idée qu'une même loi naturelle puisse gouverner la Lune et la pomme était sacrilège au temps de Galilée – le malheureux l'a constaté – mais grâce à lui, elle va de soi quelques années plus tard.

Cette gravure du XVIIIe siècle n'est pas seulement curieuse par un foisonnement de systèmes planétaires, mais aussi et surtout par les épais nuages qui matérialisent l'obscurité cosmique, et que la lumière du Soleil fait seulement reculer : deux mille deux cents ans après que Parménide l'a dissipée, l'« obscurité brumeuse » de l'Antiquité survit dans l'imagination des artistes.

En présentant sa lunette aux sénateurs de Venise, Galilée leur fait voir des navires et des monuments lointains. Quant à lui, il ne va pas tarder à tourner son nouvel instrument vers le ciel...

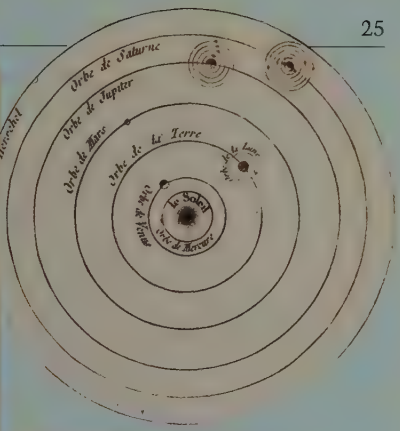


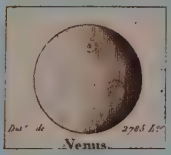
PLANISPHÆRIVM
Sive
MVNDI TOTIVS
TYCHONIS
PLANO
Prostant Amstelædami apud
GERARDVM VALK. et
PETRVM SCHENK.
CAPRI
CORNVS
SAGIT
AQVA
RIVS
PIS
CES
ARI
ES
TAV
RVS
GE
MINI
CAN
CIRCVLVS IOVIS
SYSTEMA PLANETA
RVM SOLEM HUC
DESCENDEN
TEM COMI
TANTIVM
MARS MARTIS CIRCVLVS
IVPITER IOVIS CIRCVLVS
SATVRNVS SATVRNI CIRCVL

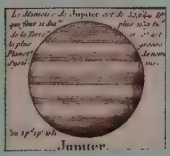
Le système de Tycho

La Renaissance ne se satisfait plus de l'ordre parfait du système de Ptolémée (ci-dessus), où les sphères s'emboîtent autour de la Terre immobile au centre du monde. Mais l'immobilité de la Terre et sa position centrale sont des dogmes si bien établis que l'on tente de les préserver tout en rendant mieux compte des mouvements observés. Tycho Brahé propose ainsi, au XVIe siècle, de faire tourner les planètes autour du Soleil, tandis que celui-ci décrit en un an un cercle autour de la Terre, toujours immobile au centre du monde.

PLANISPHÆRIVM
Sive
VNIVERSI TO
EX HYPO
COPERNI
PLANO
Prostant Amstelædami apud
Gerardum Valk, et
Petrum Schenk
ORBIS SATVRNI
MARS
MERCV







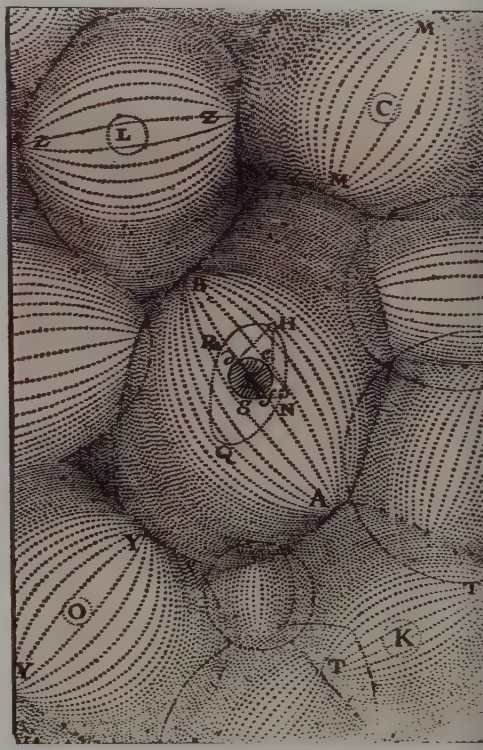
Le système de Copernic

Avec le système de Copernic, tout redevient plus simple, mais la Terre n'est ni immobile, ni «centrale» : elle tourne autour du Soleil, comme les autres planètes. Ces planètes, on connaît bientôt leur aspect, grâce au perfectionnement des instruments, mais pour connaître leur taille, il faudra d'abord mesurer leur distance c'est-à-dire mesurer le système solaire.
Et pour qu'une mesure absolue permette de connaître toutes les autres, il faudra d'abord déterminer (en 1672) toutes les proportions du système, les relations entre les distances Soleil-Terre, Soleil-Mars, etc.
La gravure ci-dessus date des années 1800 : en effet, Uranus y figure déjà, mais s'appelle encore Herschel…

Ainsi Descartes s'attaque-t-il à une explication naturelle des mouvements des corps célestes. Comme il répugne – de même que tous ses contemporains – à l'idée d'une action à distance, il imagine, pour remplir le vide entre les corps célestes, des «tourbillons» d'une matière invisible, tourbillons capables d'entraîner – tous dans le même sens – planètes et satellites.

Seulement, et Newton le sait bien, si toutes les planètes et tous les satellites connus à l'époque tournent dans le même sens, parmi les comètes il y en a qui «désobéissent», et tournent en sens inverse. Ou bien elles se moquent des tourbillons (et pourquoi?) ou bien il n'y a pas de tourbillons.

Faut-il donc admettre l'action à distance, admettre que la Terre attire la Lune à travers des centaines de milliers de kilomètres de vide?

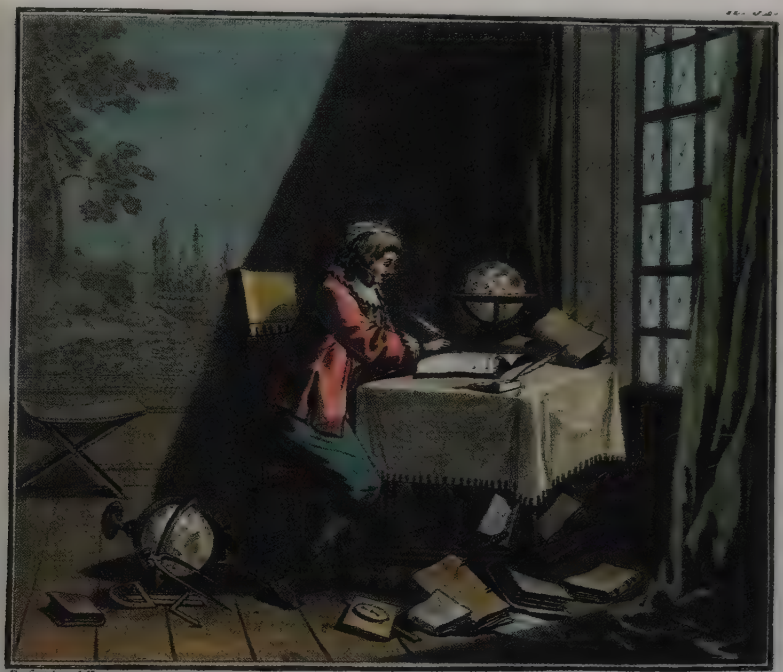


Newton cherche une loi pour son attraction : comment celle-ci varie-t-elle avec l'éloignement?

L'éloignement de quoi, précisément? Nouvelle idée «merveilleuse» : ce qui compte, pour la pomme comme pour la Lune, c'est la distance au centre de la Terre. La pomme en est à 6400 kilomètres, la Lune à 380000. Il suffit de calculer de combien chacune «tombe» en une seconde. Newton trouve sa loi : l'attraction est «inversement proportionnelle au carré de la distance».

Cette loi est-elle vérifiée par les attractions qu'exercerait le Soleil sur ses diverses planètes? Oui, grossièrement, si on admet qu'elles décrivent des cercles. Mais Kepler a montré qu'elles décrivent des ellipses, et là le calcul est impossible avec les mathématiques existantes.

Bien qu'installé en Hollande à partir de 1628, et donc moins menacé par l'Eglise, Descartes renonce à publier son «système du monde», pour ne pas connaître les mêmes ennuis que Galilée (condamné en 1633). Cela lui vaudra après sa mort d'être traité de «pusillanime» par le bénisseur des massacres des Cévennes, le récitant zélé des vertus de la famille royale, l'évêque Bossuet.



DESCARTES COMPOSANT SON SYSTÊME DU MONDE.

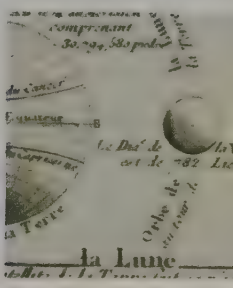
René Descartes, *né à la Haye en Touraine en 1596,* | *la gloire de la France Christine Reine de Suède, fut plus*

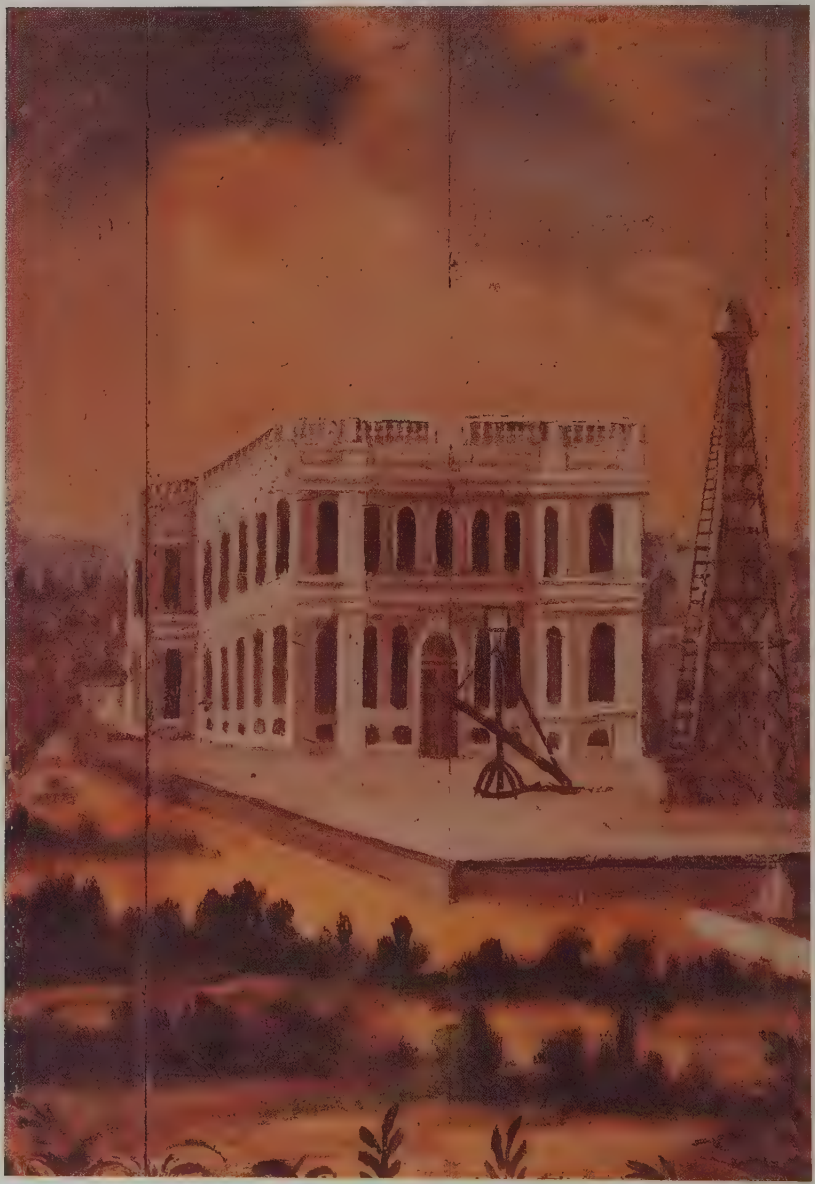
De plus, Newton a admis que c'était le centre de la boule (Terre ou Soleil) qui «comptait». Mais il ne veut pas se contenter de l'admettre; il veut le démontrer.

Il va falloir pour cela non seulement qu'il invente une nouvelle branche des mathématiques (que nous appelons le calcul différentiel), mais aussi qu'il pousse plus loin la théorie des forces et des mouvements mise sur pied par Galilée. Il a «du pain sur la planche» – pour des années! Mais, nous le savons, il n'est pas pressé de publier, ni même de raconter, ses découvertes : le monde devra attendre encore près de vingt ans la loi de l'attraction universelle!

Pendant ces vingt ans, l'astronomie européenne va irréversiblement changer de visage.

Le diamètre de la Lune vaut à peu près le quart de celui de la Terre, et la distance entre leurs centres un peu moins de trente diamètres terrestres.

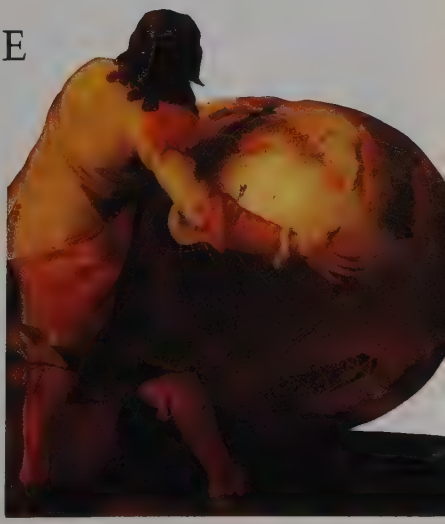




« Le mardy 21 juin 1667, jour du solstice, MM. Auzout, Frenicle, Picard, Buot et Richer furent dès le matin à l'Uranoscope ou à l'Observatoire, pour tracer une ligne méridienne sur une pierre… » Ainsi débute la construction de l'Observatoire de Paris. En moins de dix ans, on va y mesurer la Terre, le système solaire et la vitesse de la lumière.

CHAPITRE II

LA NAISSANCE DE L'ASTRONOMIE MODERNE



En 1667, Paris regroupe bon nombre de savants européens. La construction de l'Observatoire va en faire le premier centre astronomique de l'époque.

Quand Colbert fonde en 1666 l'Académie des sciences, elle existe déjà depuis une trentaine d'années... En France comme ailleurs, en effet, les savants ont pris l'habitude de se réunir régulièrement, le plus souvent chez l'un d'entre eux, pour parler de leurs travaux et de leurs découvertes.

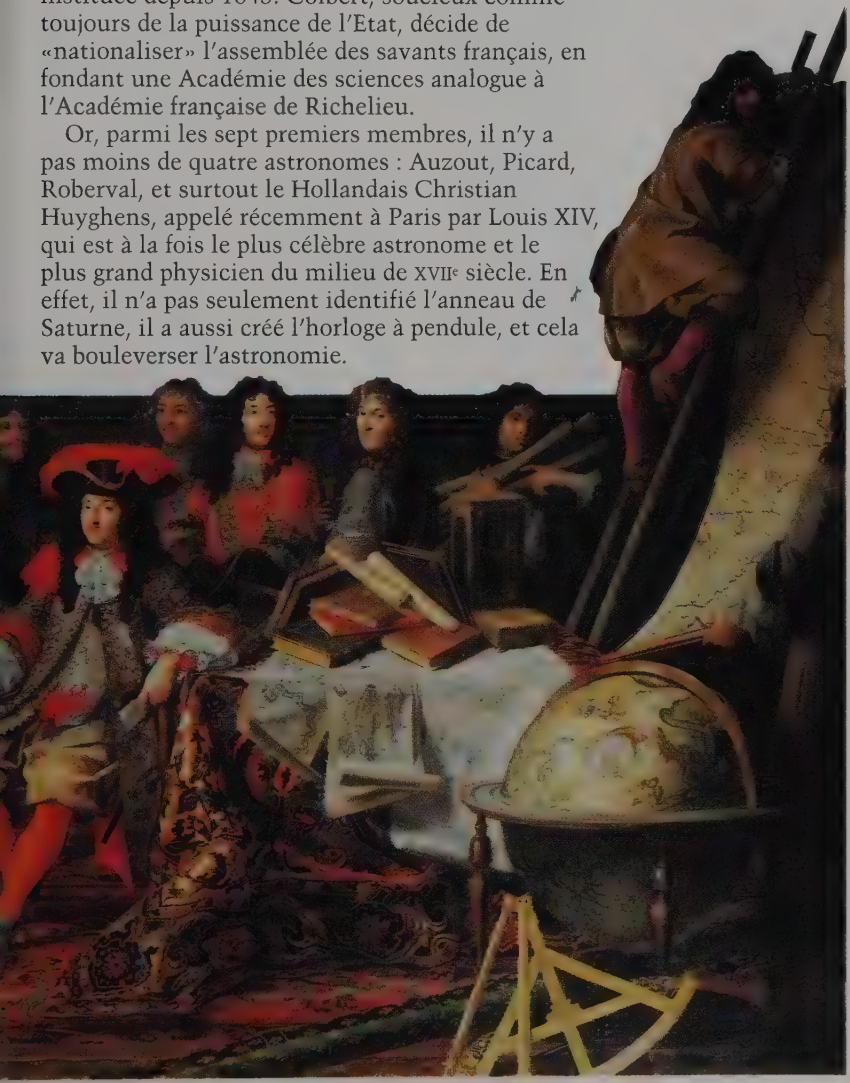
A Paris, ces assemblées se tenaient chez un curieux personnage, Melchisédec Thévenot, touche-à-tout scientifique, collectionneur infatigable et grand voyageur. C'est chez lui, par exemple, que Mersenne, qui correspondait avec tous les savants d'Europe, a présenté à Descartes le philosophe anglais Hobbes. Gilles de Roberval, Gassendi, Blaise Pascal ont appartenu à ce cercle.

A l'étranger, des groupes analogues ont déjà un patron ou un statut : à Florence, l'Accademia del Cimento est patronnée, à partir de 1657, par le

« A l'occasion de la fondation de l'Observatoire, Colbert présente au Roi Louis XIV les membres de l'Académie.» Cette peinture relève de la fiction : Louis XIV n'a visité officiellement l'Observatoire qu'en 1682. Mais en montrant une anecdote imaginaire, elle n'en représente pas moins la réalité : c'est bien sur l'ordre de Louis XIV, et à l'initiative de Colbert, qu'ont été fondés l'Académie et l'Observatoire.

cardinal Léopold de Médicis; en Bavière, les Curieux de la Nature reçoivent l'appui de l'empereur Léopold Ier; en Angleterre, la Royal Society est instituée depuis 1645. Colbert, soucieux comme toujours de la puissance de l'Etat, décide de «nationaliser» l'assemblée des savants français, en fondant une Académie des sciences analogue à l'Académie française de Richelieu.

Or, parmi les sept premiers membres, il n'y a pas moins de quatre astronomes : Auzout, Picard, Roberval, et surtout le Hollandais Christian Huyghens, appelé récemment à Paris par Louis XIV, qui est à la fois le plus célèbre astronome et le plus grand physicien du milieu de XVIIe siècle. En effet, il n'a pas seulement identifié l'anneau de Saturne, il a aussi créé l'horloge à pendule, et cela va bouleverser l'astronomie.



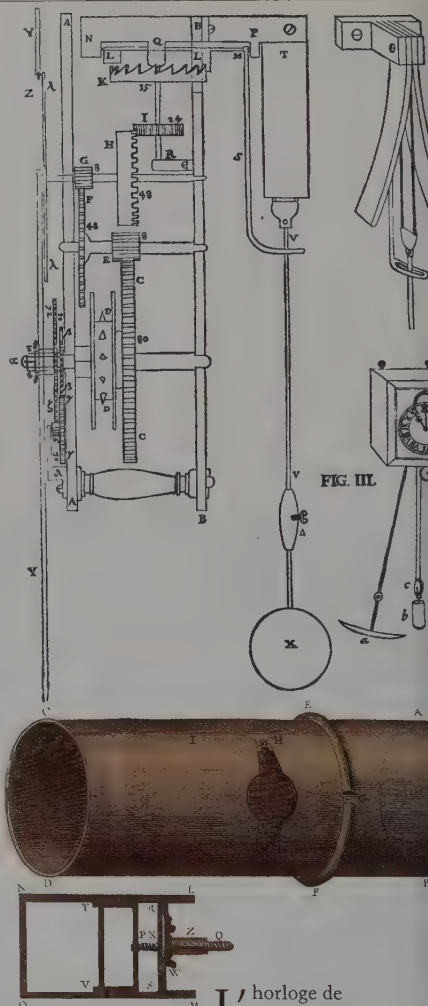
L'horloge de Huyghens et le micromètre d'Auzout permettent soudain des mesures astronomiques cent mille fois plus précises

Au début du XVIIe siècle, la seule manière pour Galilée de compter des intervalles de temps successifs égaux était de prendre son pouls : c'est ainsi qu'il a établi les lois du plan incliné! C'est sans doute aussi de cette manière qu'il a étudié les oscillations du pendule – en regardant un lustre se balancer pendant l'ennui d'une longue messe, dit la légende... En tout cas, il a constaté que la période du pendule (le temps d'un aller-retour) ne dépend pas de l'amplitude de ses oscillations, tant qu'elles sont petites.

C'est cette remarque qui donne à Huyghens l'idée d'utiliser un pendule pour réguler le mouvement d'une horloge. Jusque-là, les horloges mécaniques étaient régulées très grossièrement, par la raideur d'une lame élastique, et elles étaient moins dignes de confiance que les horloges à eau, comme celle que le jeune Newton avait installée à Woolsthorpe...

Mais avec le pendule régulateur, dont le mouvement est entretenu par l'échappement même qu'il commande, tout change : vers 1665, l'horloge mécanique «tient» la seconde en vingt-quatre heures! On estime à mille le gain réalisé sur la précision des temps!

Quant au micromètre d'Auzout, c'est un dispositif qui permet, en tournant une vis, de déplacer un fil devant l'oculaire d'une lunette, pour amener ce fil juste sur l'image d'une étoile. En repérant sur un tambour gradué l'angle dont tourne la vis, on mesure



L'horloge de Huyghens (en haut) et le micromètre d'Auzout, avec son cadre coulissant et sa vis (en bas) : ces deux inventions rendent soudain possibles les mesures astronomiques de précision.

des déplacements du fil de l'ordre du centième de millimètre : on gagne un facteur cent sur la précision des mesures de position.

Avec Galilée et Newton, Hüyghens est l'un des trois grands physiciens du XVIIe siècle. Connu très tôt pour ses découvertes sur Saturne (anneau et premier satellite) et pour son horloge à pendule, il a aussi publié le premier exposé du calcul des probabilités, considérablement développé toute la mécanique et le calcul des courbes, et enfin mis sur pied la première théorie ondulatoire de la lumière...
Appelé à Paris par Colbert dès la fondation de l'Académie, Huyghens en a été chassé en 1685 par la révocation de l'Edit de Nantes.

L'heure de l'astronomie de précision a sonné : dès 1665, Auzout propose à Louis XIV la construction d'un observatoire

«Il y va, Sire, de la gloire de Vostre Majesté, et de la Réputation de la France et c'est ce qui nous fait espérer qu'Elle ordonnera quelque lieu pour faire à l'avenir toutes sortes d'observations célestes et qu'Elle le fera garnir de tous les instruments nécessaires pour cet effet.»

Dès 1667, Colbert achète au nom du roi «une pièce de terre sur laquelle est situé un moulin à vent... hors la fausse porte Saint-Jacques au lieu-dit le Grand Regard»... Et les astronomes de l'Académie viennent en grande pompe, le jour du solstice d'été, déterminer l'orientation du futur bâtiment, en traçant sur le sol «la méridienne»– c'est-à-dire le méridien de Paris.

Le bâtiment ne sera achevé qu'en 1672, mais les travaux astronomiques, eux, vont commencer tout de suite. Le premier point du programme, choisi dès 1667, est la mesure précise de la taille de la Terre.

Comme les astronomes d'Alexandrie mille neuf cents ans plus tôt, ceux de l'Observatoire commencent par mesurer la Terre, avant de s'élancer vers les astres

La Terre étant supposée sphérique, il suffit pour connaître sa taille de mesurer la longueur d'un degré de méridien, c'est-à-dire la distance séparant deux points du même méridien, où les verticales font entre elles un angle de un degré : il suffit ensuite de multiplier cette distance par trois cent soixante pour connaître la circonférence du globe.

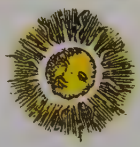
La distance à mesurer – avec la plus grande précision possible – vaut à peu près cent dix kilomètres. La méthode repose sur la triangulation,

Louis XIV avait fait transporter dans les jardins de l'Observatoire la « Tour de Marly », pour que Cassini puisse y installer ses objectifs. Celui-ci observait en effet sans tube, et se déplaçait dans le jardin, l'oculaire à la main, en visant à travers un objectif situé à 10 ou 20 mètres. L'Observatoire a gagné vers 1835 deux ailes et deux coupoles, mais le bâtiment principal est toujours celui du XVIIe.

étudiée dès 1533 par Gemma Frisius, et mise en pratique en 1615 par Willebrord Snell, concurrent de Descartes en matière d'optique... Quand on connaît les angles d'un triangle, et l'un de ses côtés, on calcule facilement les deux autres. On couvre ainsi la région à mesurer d'un réseau de triangles, dont les sommets sont des repères visibles de loin (clochers, signaux édifiés sur des collines, etc.) et on mesure avec soin tous les angles de ces triangles. Puis on mesure par arpentage, avec des perches, l'un des côtés (la «base»), long d'une dizaine de kilomètres. Il n'y a plus qu'à calculer tous les autres, et finalement la distance entre les deux sommets marquant les

La zone de totalité d'une éclipse de soleil a tout au plus quelques kilomètres de large. Il faut donc y amener à chaque fois les instruments nécessaires, et leur construire des abris de fortune.

extrémités du «degré de méridien» – extrémités déterminées par des procédés astronomiques.



Picard mesure, en deux ans, l'arc de méridien entre Paris et Amiens

Ancien assistant de Gassendi, avec qui il a observé l'éclipse de soleil du 21 août 1645, l'abbé Jean Picard a aussi contribué à la mise au point du micromètre d'Auzout. Nommé à l'Académie des sciences dès sa fondation, il va superviser la construction des premiers instruments de l'Observatoire, dont il donnera en 1671 une description extrêmement détaillée, avec des règles d'emploi et de contrôle qui sont encore en vigueur de nos jours.

Entre-temps, c'est lui qui mesure la Terre... Heureusement, il fait ses mesures dans la région parisienne, ce qui lui permet de rentrer à Paris fréquemment, et d'y poursuivre d'autres travaux. Sur place, il doit installer ses instruments de visée – dont les lunettes sont les premières à utiliser le micromètre – en haut des clochers et des tours qui définissent son système de triangles. Son grand secteur de trois mètres vingt-cinq de rayon, destiné à fixer astronomiquement les directions des verticales aux deux bouts de l'arc à mesurer, risquerait de se dérégler si on le transportait en charrette : c'est à pied, sur un brancard, qu'on le porte de Paris à Amiens...

La base, longue de onze kilomètres, va de Villejuif à Juvisy. On la mesure à deux reprises, avec des perches en bois de huit mètres, dont il faut à chaque fois vérifier avec soin l'alignement et l'horizontalité (avec équerre et fil à plomb)!

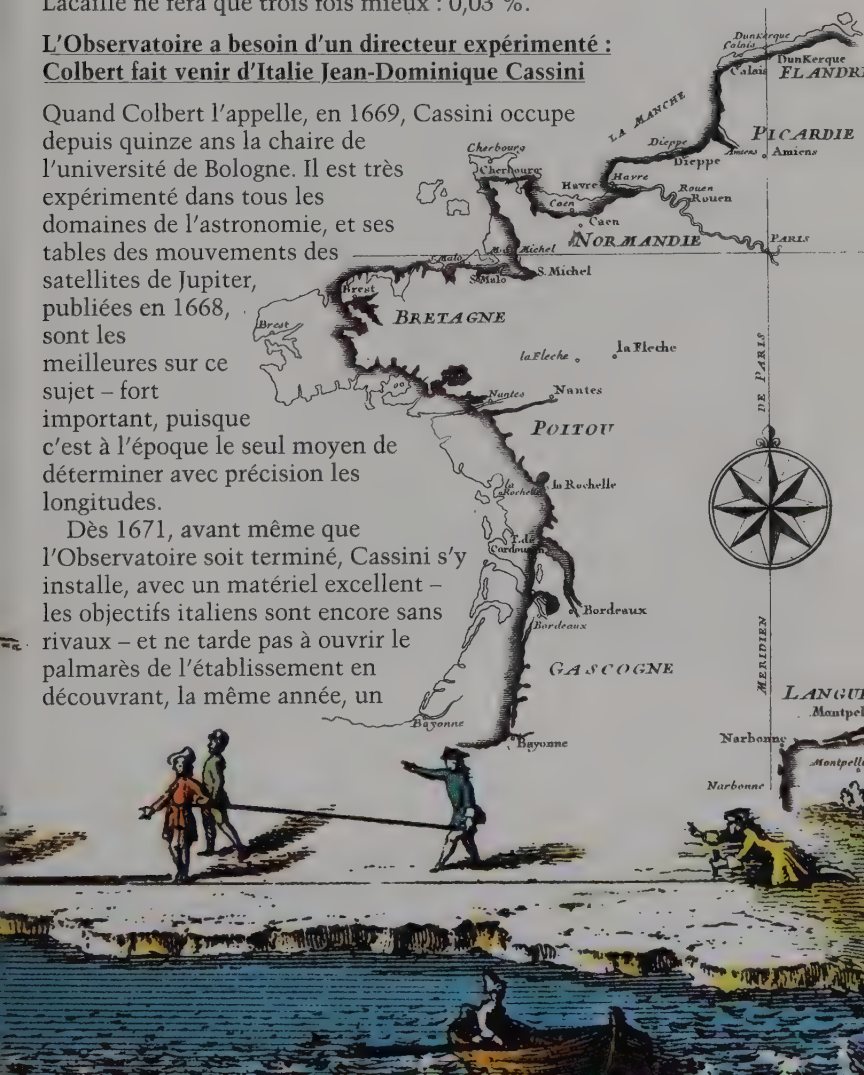
Picard ne s'est pas contenté de mesurer le degré du méridien : il a mesuré toute la France. Au cours d'une série de missions s'étalant sur cinq ans (1676-1681), il a dressé avec La Hire la première carte correcte des côtes. Quand on lui a présenté, en 1682, cette carte superposée à la carte inexacte en vigueur jusque-là, Louis XIV s'est plaint ironiquement que cette opération lui coûte une partie non négligeable de son royaume.

Picard annonce son résultat : il y a cinquante sept mille soixante toises dans un degré du méridien (nous verrons l'importance de ce résultat pour Newton). Cette mesure est d'une précision remarquable : environ 0,1 %. Près d'un siècle plus tard, en 1756, Lacaille ne fera que trois fois mieux : 0,03 %.

L'Observatoire a besoin d'un directeur expérimenté : Colbert fait venir d'Italie Jean-Dominique Cassini

Quand Colbert l'appelle, en 1669, Cassini occupe depuis quinze ans la chaire de l'université de Bologne. Il est très expérimenté dans tous les domaines de l'astronomie, et ses tables des mouvements des satellites de Jupiter, publiées en 1668, sont les meilleures sur ce sujet – fort important, puisque c'est à l'époque le seul moyen de déterminer avec précision les longitudes.

Dès 1671, avant même que l'Observatoire soit terminé, Cassini s'y installe, avec un matériel excellent – les objectifs italiens sont encore sans rivaux – et ne tarde pas à ouvrir le palmarès de l'établissement en découvrant, la même année, un



La dynastie des Cassini a dirigé l'Observatoire depuis l'arrivée en 1669 de Jean-Dominique, dit Cassini I, venu de Bologne à l'invitation de Colbert jusqu'à la démission en 1793 de Cassini IV. Mais les trois derniers (Jacques, Cassini de Thury et Cassini IV) se sont surtout consacrés à la géodésie et à la carte de France. En matière d'astronomie, leurs travaux mis ensemble sont loin de valoir ceux du fondateur de la lignée : outre ses multiples découvertes sur Saturne (quatre satellites et la division des anneaux) et sa mesure du système solaire avec Richer, il a réalisé une grande carte de la Lune, tenté de mesurer la rotation de Vénus, et perfectionné sans cesse ses tables des satellites de Jupiter.

Si l'on ajoute à cela la supervision de la construction et de l'équipement de l'Observatoire, sa direction scientifique et administrative, et la formation de toute une génération d'astronomes, on constate, une fois de plus, que Colbert a eu la main heureuse en faisant venir de Bologne à Paris celui qui devait devenir Cassini I...

nouveau satellite de Saturne, Japet (il identifie Rhéa en 1672, puis Téthys et Dioné, douze ans plus tard, en 1684). C'est également lui qui découvre la division des anneaux de Saturne, et surtout nous le verrons bientôt partager avec Richer la toute première mesure des dimensions du système solaire.

Auparavant, ses tables des satellites de Jupiter vont servir à Picard pour une mission au Danemark.

Picard se rend sur les ruines de l'observatoire de Tycho Brahé, dans une île danoise, pour en déterminer exactement la position

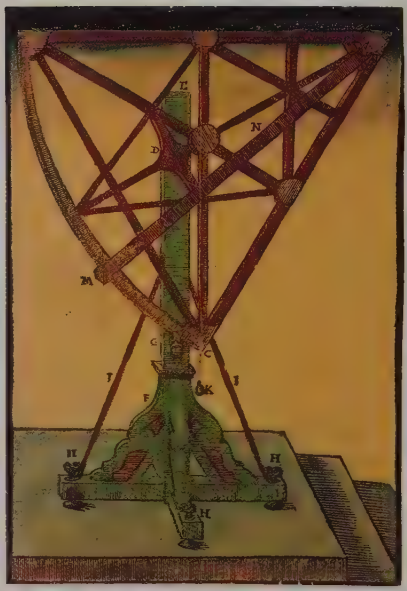
C'est lui-même qui expose ainsi, dès 1669, les objectifs astronomiques qui rendent nécessaire l'envoi de cette

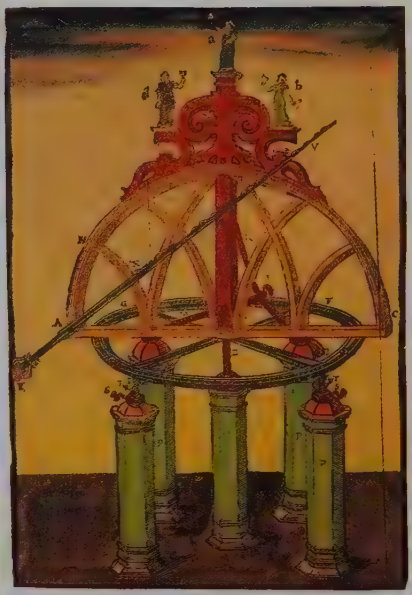
mission : «... pour comparer les expériences faites ici avec celles de Tycho Brahé, et substituer le méridien de Paris au lieu et place de celui d'Uraniborg, il est nécessaire de sçavoir exactement la différence de longitude qu'il y a entre ces deux méridiens, et pour cet effet il faudrait avoir des déterminations des satellites de Jupiter correspondamment faictes entre ces deux lieux. Il serait mesme bien qu'on eut pris de nouveau la hauteur du Pôle du lieu où était Uraniborg tant pour comparer nos instruments avec ceux de Tycho que pour voir quelle foy on doibt avoir à ses observations...»

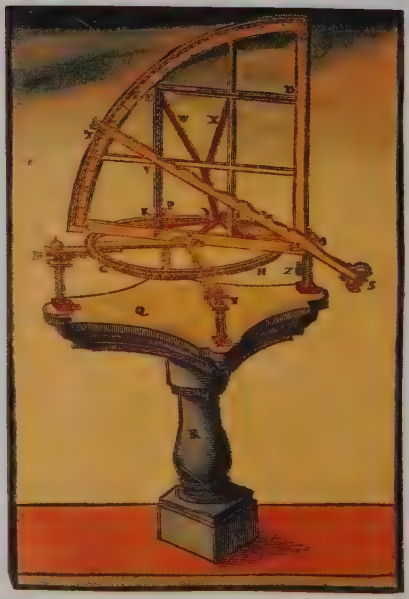
Compte tenu de l'importance des observations de Tycho – base sur laquelle reposent les lois de Kepler –, il est très intéressant, en effet, de pouvoir les relier à celles que l'on va faire à Paris, de manière à comparer des positions repérées à près d'un siècle d'intervalle.

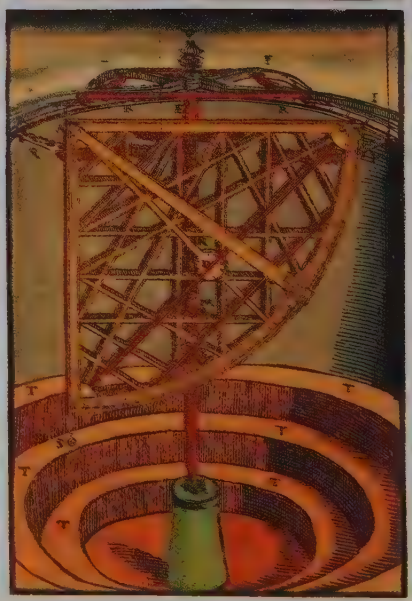
Quant aux éclipses des satellites de Jupiter, elles jouent ici le rôle du «top» de la radio : visibles

En 1572, Tycho a vingt-six ans et il devient célèbre en découvrant la première «nova» des temps modernes. En 1577, le roi du Danemark lui donne l'île de Hveen, où il construit son observatoire d'Uraniborg («le village du ciel»). Mais après la mort du roi, Tycho se brouille avec ses successeurs, et doit s'exiler à Prague. Son observatoire ruiné par les intempéries, les paysans de l'île en récupèrent les matériaux...









A Prague, Tycho Brahé devient « mathématicien » de l'Empereur, et à sa mort, en 1601, son assistant Kepler lui succède. Selon Kepler, qui n'a jamais caché son admiration pour les qualités d'observateur de Tycho, celui-ci « pensait en secondes d'arc »... Or, il est mort dix ans avant que Galilée construise sa lunette, et ses instruments étaient sans optique. Pour que les visées soient précises, il fallait que les instruments soient très grands, comme le « quart de cercle » représenté dans son observatoire sur la gravure de gauche. Ces grands instruments (Tycho en a construit un de 6 m de rayon!) étaient fixes, dans le plan du méridien. Ils servaient à mesurer la hauteur des astres à leur passage au méridien. Or, sur un cercle de 6 m de rayon, une minute d'arc occupe 2 mm... Dès que la lunette existera, des instruments plus petits, mobiles, pourront avoir la même précision : « quadrants » (quarts de cercle), « sextants » (sixièmes de cercle) et demi-sphères vont se multiplier.

au même instant à Paris et au Danemark, elles permettent de comparer les heures locales des deux lieux, c'est-à-dire de déterminer la différence de leurs longitudes. Pour observer avec précision ces éclipses, Picard emporte trois lunettes à micromètre, en plus des instruments qu'il a utilisés pour mesurer le méridien. Il part pour le Danemark en juillet 1671.

De l'observatoire abandonné par Tycho en 1597, il ne reste plus que les fondations. Picard parvient pourtant à reconstituer l'emplacement des instruments, et à mener à bien sa mission avec l'aide d'un jeune astronome danois, Olaus Roemer.

Impressionné par la compétence du jeune homme, Picard le ramène à Paris, obtient pour lui la charge de professeur d'astronomie du Dauphin, et le fait entrer à l'Académie.

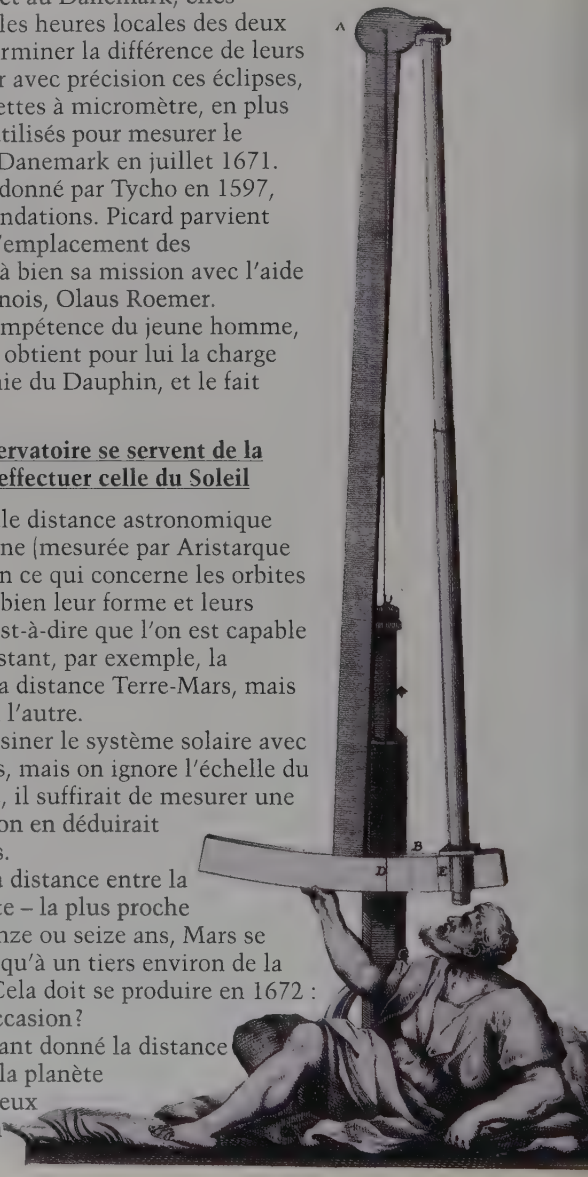
Les astronomes de l'Observatoire se servent de la mesure de la Terre pour effectuer celle du Soleil

Jusque-là, en effet, la seule distance astronomique connue est celle de la Lune (mesurée par Aristarque au IIIe siècle av. J.-C...). En ce qui concerne les orbites des planètes, on connaît bien leur forme et leurs dimensions relatives, c'est-à-dire que l'on est capable de comparer à chaque instant, par exemple, la distance Terre-Soleil et la distance Terre-Mars, mais on ne connaît ni l'une ni l'autre.

En somme, on sait dessiner le système solaire avec des proportions correctes, mais on ignore l'échelle du dessin. Pour la connaître, il suffirait de mesurer une distance quelconque, et on en déduirait aussitôt toutes les autres.

Il faut donc mesurer la distance entre la Terre et une autre planète – la plus proche possible. Or tous les quinze ou seize ans, Mars se rapproche de la Terre jusqu'à un tiers environ de la distance Terre-Soleil... Cela doit se produire en 1672 : comment profiter de l'occasion?

Pour évaluer à un instant donné la distance Terre-Mars, il faut viser la planète simultanément depuis deux points très éloignés de la surface terrestre, et

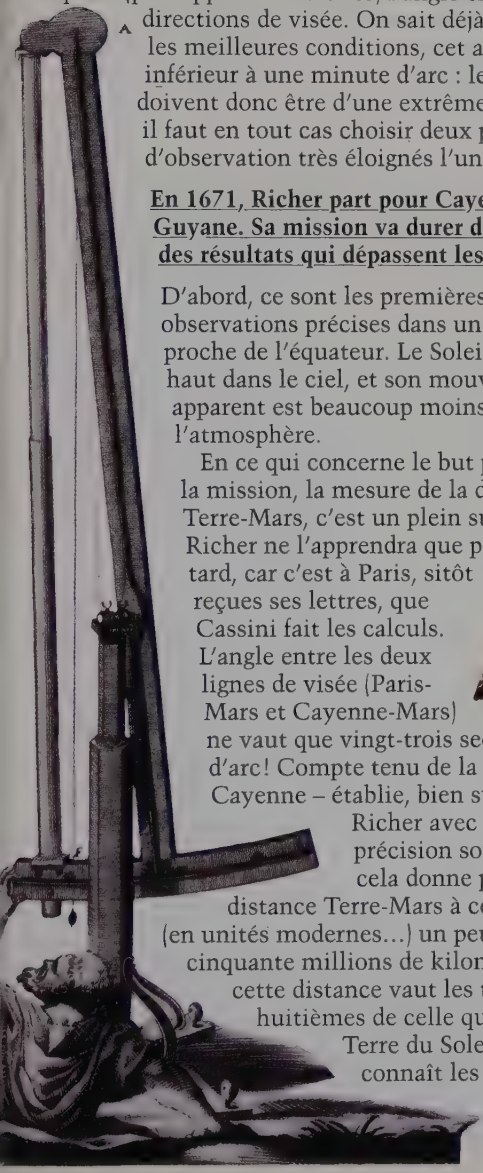


repérer (par rapport aux étoiles) l'angle entre ces deux directions de visée. On sait déjà que, dans les meilleures conditions, cet angle sera très inférieur à une minute d'arc : les mesures doivent donc être d'une extrême précision, et il faut en tout cas choisir deux points d'observation très éloignés l'un de l'autre.

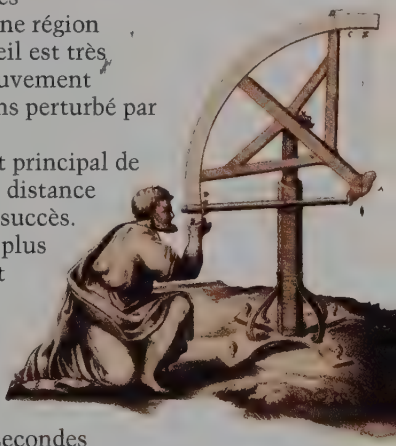
En 1671, Richer part pour Cayenne, en Guyane. Sa mission va durer deux ans, avec des résultats qui dépassent les espérances

D'abord, ce sont les premières observations précises dans une région proche de l'équateur. Le Soleil est très haut dans le ciel, et son mouvement apparent est beaucoup moins perturbé par l'atmosphère.

En ce qui concerne le but principal de la mission, la mesure de la distance Terre-Mars, c'est un plein succès. Richer ne l'apprendra que plus tard, car c'est à Paris, sitôt reçues ses lettres, que Cassini fait les calculs. L'angle entre les deux lignes de visée (Paris-Mars et Cayenne-Mars) ne vaut que vingt-trois secondes d'arc! Compte tenu de la position de Cayenne – établie, bien sûr, par Richer avec toute la précision souhaitable –, cela donne pour la distance Terre-Mars à ce moment (en unités modernes...) un peu moins de cinquante millions de kilomètres. Or, cette distance vaut les trois huitièmes de celle qui sépare la Terre du Soleil : on connaît les dimensions exactes du système solaire!



Les deux instruments principaux de Picard : un quart de cercle pour viser les repères (il peut être vertical ou horizontal) et un secteur de petit angle, mais de grand rayon, pour pointer avec précision les étoiles par rapport à la verticale du lieu (matérialisée par un fil à plomb).



La distance entre le Soleil et la Terre est d'environ cent cinquante millions de kilomètres en moyenne, soit vingt fois plus que ce que l'on supposait jusque-là ! Et la précision est excellente : moins de 2 % d'erreur par rapport aux mesures les plus modernes. Le succès est total, par conséquent. Mais il y a mieux

Sur cette carte, le nord est en bas : le lecteur voit la Terre devant lui comme s'il allait y aborder…

encore : Richer a découvert quelque chose d'inattendu... En réglant ses horloges (par pointés astronomiques), il a constaté que le même pendule battait plus lentement à Cayenne qu'à Paris!

Cette découverte, confirmée en 1682 par une mission envoyée par Cassini aux îles du Cap-Vert et aux Antilles, va jouer un rôle très important dans les discussions que soulèvera la théorie de la gravitation.

Auparavant, les mesures de Richer vont avoir une «retombée» inattendue.

OBSERVATIONS
ASTRONOMIQUES
ET PHYSIQUES
FAITES
EN L'ISLE
DE CAÏENNE.

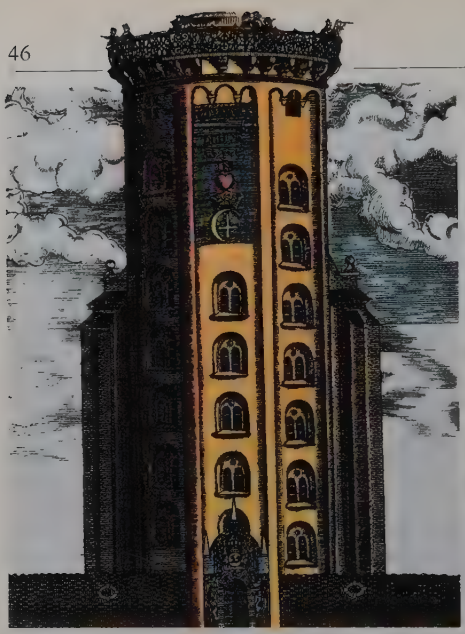
Richer passe près de deux ans à Cayenne, avec un matériel important et une bonne équipe : la masse de résultats qu'il recueille dans tous les domaines est considérable.

Grâce à la connaissance de la distance Soleil-Terre, Roemer parvient à mesurer, pour la première fois, la vitesse de la lumière

A cette époque, on n'est pas encore sûr que la lumière ait une vitesse finie – un «déplacement successif», comme on dit alors. Peut-être son déplacement est-il instantané? En tout cas, si Galilée n'est pas parvenu à trancher, ses mesures avec des lanternes à volets ont au moins montré que, si cette vitesse est finie, elle est forcément très grande. Pour espérer la calculer, il faut donc soit savoir mesurer des intervalles de temps extrêmement brefs, soit étudier son déplacement sur des distances extrêmement grandes – c'est-à-dire astronomiques.

Installé à l'Observatoire par Picard, Roemer étudie les fameuses tables des satellites de Jupiter. Or ces tables révèlent une irrégularité périodique de leurs éclipses par la planète. Celles-ci se produisent sûrement à intervalles réguliers, et pourtant les instants où on les note «avancent» pendant six mois et «retardent» pendant les six autres, l'écart maximum à six mois d'intervalle atteignant seize minutes.

Roemer réalise alors que l'instant noté à chaque fois n'est pas vraiment celui où l'éclipse a lieu, mais celui où on la voit depuis la Terre. Si la lumière met



un certain temps à venir de Jupiter à la Terre, il y a un décalage entre ces deux instants, décalage qui varie avec la distance entre Jupiter et la Terre. Quand les deux planètes sont du même côté du Soleil, la lumière a une plus courte distance à parcourir entre elles que lorsqu'elles sont de part et d'autre du Soleil. Plus courte de combien ? Un diamètre de l'orbite de la Terre. Ce diamètre, Richer l'a mesuré : il vaut trois cents millions de kilomètres. S'il entraîne un décalage de seize minutes, soit environ mille secondes, c'est que la lumière parcourt trois cent mille kilomètres par seconde.

En fait, par suite de différentes inexactitudes, Roemer trouve la valeur deux cent mille. Peu importe : l'ordre de grandeur est correct, et surtout il est bien établi, maintenant, que la lumière a «un mouvement successif».

Rétrospectivement, ce n'est pas étonnant que Galilée, avec ses lanternes, n'ait pas pu trancher la question : sur une distance d'une dizaine de kilomètres, le temps qu'il cherchait à mesurer était de l'ordre de quelques cent millièmes de seconde ! Mais au fond, c'est tout de même un peu grâce à lui

Né en 1644 à Aarhus (Danemark), Olaus Roemer devient l'assistant du professeur chargé d'éditer les cahiers d'observations laissés par Tycho. Il est donc naturel qu'il assiste Picard lors de la mission de celui-ci aux ruines d'Uraniborg. Ramené à Paris par Picard, il travaille dix ans avec lui, perfectionnant notamment divers instruments. Une fois rentré chez lui, il met au point plusieurs instruments, en particulier une lunette méridienne dont s'inspirent de nombreux instruments modernes.

que la mesure a pu être faite : ces fameux satellites de Jupiter, c'est lui qui les a découverts, et qui a commencé à en noter les éclipses...

Roemer annonce son résultat en 1675. Il y a huit ans à peine que «Messieurs les académiciens» ont tracé la méridienne sur le terrain vague du «Grand Regard»... Les astronomes parisiens n'ont pas perdu leur temps!

« Au mesme temps, je fais estat de vous expliquer l'invention d'une nouvelle sorte de Télescope par Monsieur Isaac Newton, Professeur de Mathématiques à Cambridge. Tout ce que je vous en diray à présent, c'est que, par le premier essay, qui en a été vu et examiné icy, il apparaît qu'un télescope d'environ six pouces… » C'est ainsi qu'en janvier 1672 le secrétaire de la Royal Society apprend à Huyghens l'existence de Newton.

CHAPITRE III

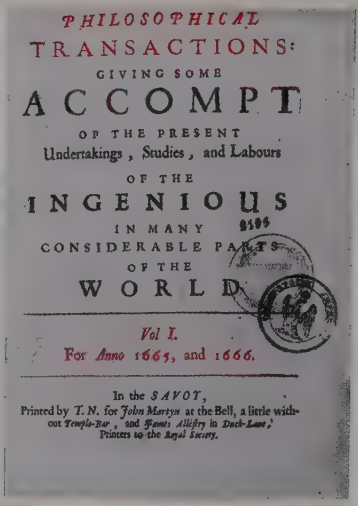
DU TÉLESCOPE À LA GRAVITATION

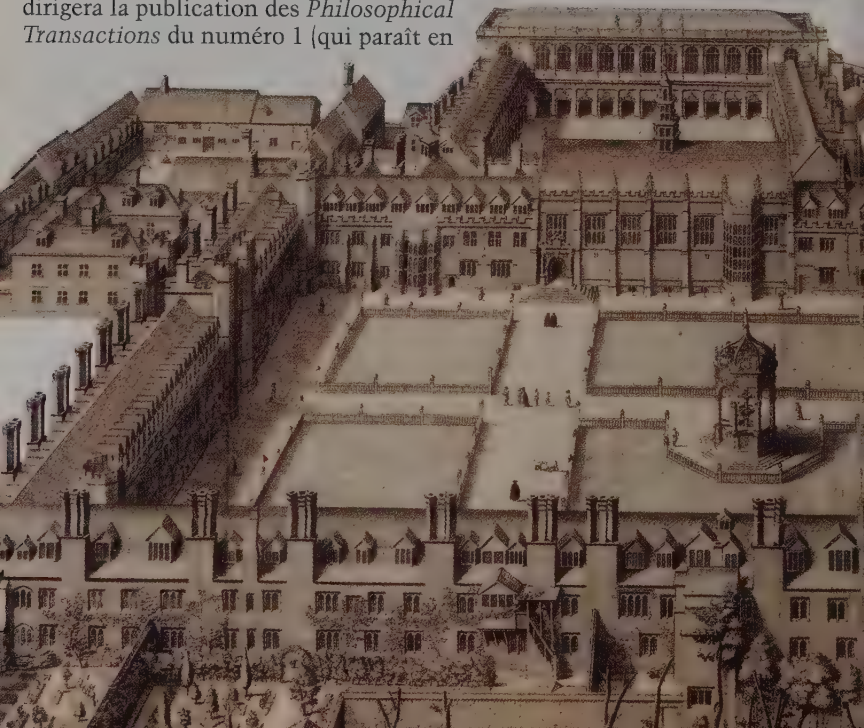
Après la guerre civile, la Grande Peste et l'incendie qui a détruit la moitié de ses vieilles maisons, Londres renaît littéralement de ses cendres à partir de 1667.

Huyghens est sans doute le plus célèbre des correspondants du secrétaire de la Royal Society, Henry Oldenburg, mais c'est loin d'être le seul : l'un des principaux devoirs de son poste est d'entretenir une correspondance suivie avec plusieurs dizaines de savants de tous les pays.

C'est d'ailleurs une tradition qui va bientôt se perdre, d'abord parce que le nombre des savants augmente rapidement, mais aussi parce que les premières revues scientifiques commencent à paraître : les *Philosophical Transactions of the Royal Society* en 1664 et le *Journal des sçavans* en 1665.

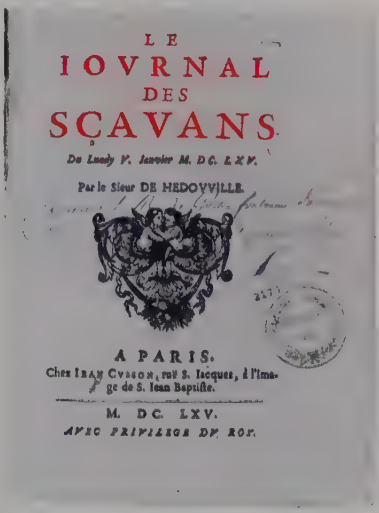
C'est d'ailleurs le même Oldenburg qui dirigera la publication des *Philosophical Transactions* du numéro 1 (qui paraît en


PHILOSOPHICAL
TRANSACTIONS:
GIVING SOME
ACCOMPT
OF THE PRESENT
Undertakings, Studies, and Labours
OF THE
INGENIOUS
IN MANY
CONSIDERABLE PARTS
OF THE
WORLD.
Vol I.
For Anno 1665, and 1666.
In the SAVOY,
Printed by T. N. for John Martyn at the Bell, a little without Temple-Bar, and Henry Allestry in Duck-Lane,
Printers to the Royal Society.



1664) au numéro 136 (juin 1677)... Mais malgré les publications, la correspondance personnelle restera encore longtemps importante.

Correspondance et publications n'ont d'ailleurs pas seulement pour but d'informer le grand public : elles servent aussi à «homologuer» une découverte, à l'officialiser, à en publier en quelque sorte la paternité. Ainsi, le télescope, annoncé en 1671 à Huyghens, sera décrit quelques semaines plus tard, et en latin, dans les *Philosophical Transactions*. Il y a alors un peu plus d'un an que Newton l'a soumis à l'examen de la Royal Society : à la fin de 1669, dès qu'il a été nommé professeur à Cambridge.


LE
IOVRNAL
DES
SÇAVANS
De Lundy 5. Ianvier M. DC. LXV.
Par le Sieur DE HEDOVVILLE.
A PARIS.
Chez IEAN CVSSON, rue S. Iacques, à l'Image de S. Iean Baptiste.
M. DC. LXV.
AVEC PRIVILEGE DV ROY.

Les revues scientifiques naissent presque à la même date à Londres et à Paris : les *Philosophical Transactions* ne devancent le *Journal des sçavans* que de quelques mois.

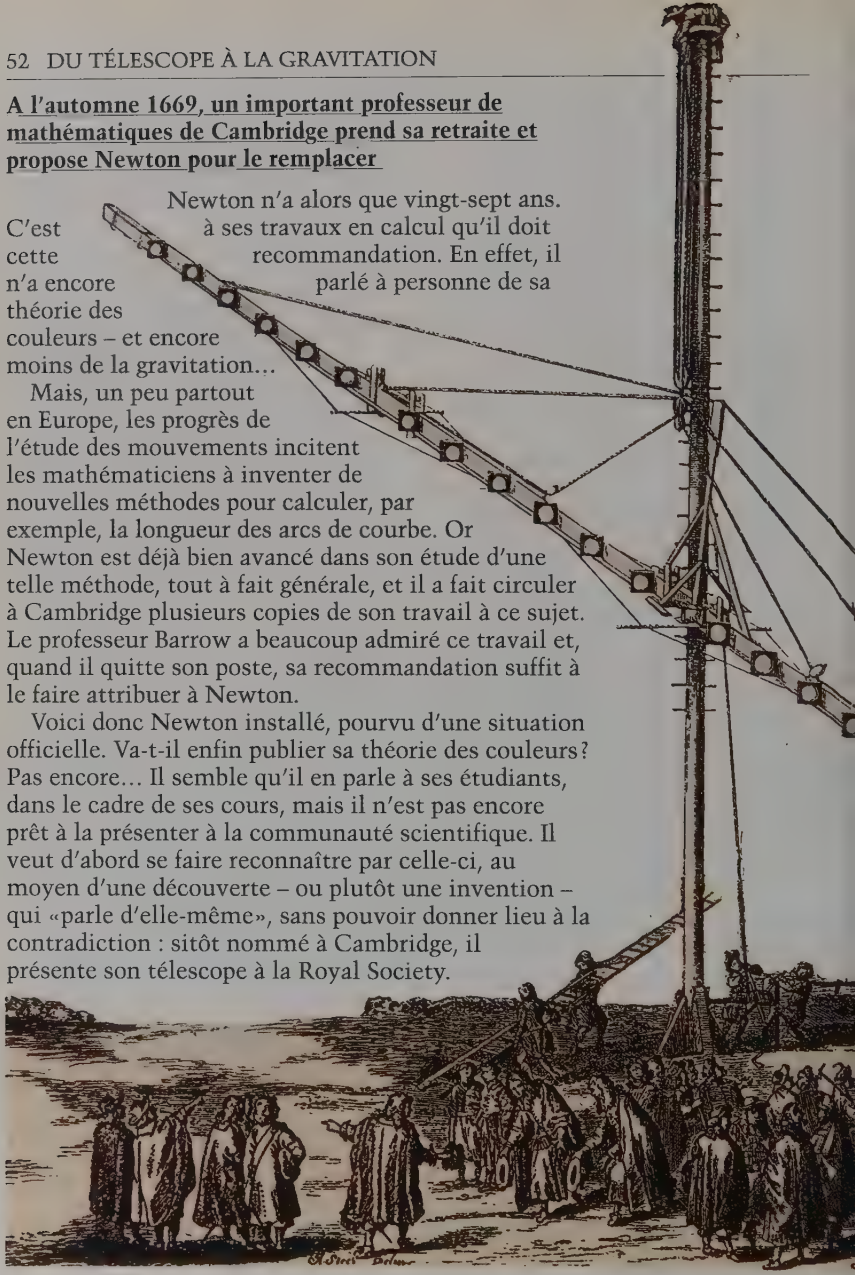
L'université de Cambridge en 1690 – et d'ailleurs en 1990 – paraît être un assemblage de plusieurs couvents, sur lequel on aurait greffé une série de pensions de famille cossues mais austères. Le tout est entouré de jardins et de pelouses, qui descendent doucement jusqu'à la rivière Cam...

A l'automne 1669, un important professeur de mathématiques de Cambridge prend sa retraite et propose Newton pour le remplacer

Newton n'a alors que vingt-sept ans. C'est à ses travaux en calcul qu'il doit cette recommandation. En effet, il n'a encore parlé à personne de sa théorie des couleurs – et encore moins de la gravitation...

Mais, un peu partout en Europe, les progrès de l'étude des mouvements incitent les mathématiciens à inventer de nouvelles méthodes pour calculer, par exemple, la longueur des arcs de courbe. Or Newton est déjà bien avancé dans son étude d'une telle méthode, tout à fait générale, et il a fait circuler à Cambridge plusieurs copies de son travail à ce sujet. Le professeur Barrow a beaucoup admiré ce travail et, quand il quitte son poste, sa recommandation suffit à le faire attribuer à Newton.

Voici donc Newton installé, pourvu d'une situation officielle. Va-t-il enfin publier sa théorie des couleurs? Pas encore... Il semble qu'il en parle à ses étudiants, dans le cadre de ses cours, mais il n'est pas encore prêt à la présenter à la communauté scientifique. Il veut d'abord se faire reconnaître par celle-ci, au moyen d'une découverte – ou plutôt une invention – qui «parle d'elle-même», sans pouvoir donner lieu à la contradiction : sitôt nommé à Cambridge, il présente son télescope à la Royal Society.

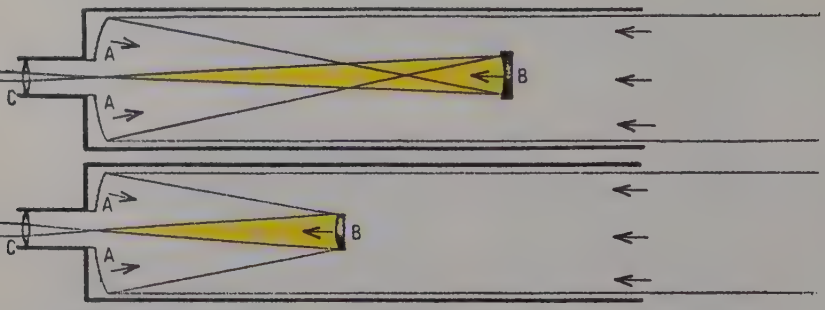


Si Newton a construit le premier télescope, c'est parce qu'il est persuadé – à tort – que sa théorie des couleurs condamne la lunette astronomique

Il a démontré, en effet, que la lumière «blanche» était un mélange de lumières colorées, que le prisme déviait différemment. Mais ce n'est pas seulement vrai du prisme. Cela va se produire à chaque fois que la lumière traverse la surface d'un morceau de verre – une lentille en particulier : l'objectif d'une lunette donnera toujours des images irisées. En fait, on trouvera bientôt une manière, sinon d'annuler ce défaut, du moins de le rendre négligeable, en associant deux lentilles de verres différents. Mais Newton, persuadé que c'est impossible, cherche une solution radicale : pas de lentille ! Le télescope doit remplacer la lunette, car son miroir ne risque pas de disperser les couleurs de la lumière.

Le problème, avec le télescope, c'est que l'image se forme devant le miroir. L'idéal pour la regarder serait de mettre la tête devant le tube, mais alors on empêcherait la lumière d'entrer… Il faut donc

Ce télescope du XVIIIe siècle, du type de celui de Cassegrain, a le même grossissement que la monstrueuse lunette de Hévélius (1670), mais il est à la fois plus lumineux, plus stable et plus maniable.
Le grossissement n'est d'ailleurs pas la seule raison de ce gigantisme : plus la lunette est longue, par rapport à son diamètre, moins les aberrations sont gênantes, et en particulier l'irisation des images, toujours sans remède en 1670, puisqu'il n'existait encore ni télescope ni lentilles achromatiques.



Les télescopes de Gregory (en haut) et de Cassegrain (en bas) n'existent alors que sur le papier : leurs petits miroirs courbes sont trop difficiles à réaliser. Ce qui séduit d'abord les contemporains de Newton, c'est la compacité de son instrument. Et il ne s'agit pas seulement de commodité : plus l'instrument est compact, plus il est facile de l'empêcher de vibrer. Or, une monture branlante détruit à tel point les images qu'une bonne stabilité est une qualité encore plus importante qu'un grossissement élevé. Enfin, la toute petite taille de l'instrument permet d'assurer ses déplacements dans toutes les directions d'une façon très élégante, au moyen d'une boule posée sur une coupelle et saisie par deux mâchoires métalliques.

s'arranger pour sortir l'image du tube, et c'est là que les modèles diffèrent.

Gregory et Cassegrain proposent les premiers de percer le grand miroir en son centre, pour faire sortir le faisceau vers l'arrière au moyen d'un petit miroir placé dans le tube. Mais ce petit miroir doit être elliptique pour le modèle de Gregory, hyperbolique pour celui de Cassegrain : à l'époque, on est tout à fait incapable de les réaliser.

Newton a l'idée de renvoyer le faisceau de rayon non pas vers l'arrière, mais sur le côté du tube. Pour cela, il suffit d'un petit miroir plan placé sur l'axe du tube et incliné à quarante-cinq degrés. Ce télescope-là devient faisable : de nos jours, si les grands télescopes professionnels sont du modèle de celui de Cassegrain, la plupart des télescopes d'amateurs – surtout s'ils les construisent eux-mêmes – sont du modèle de celui de Newton.

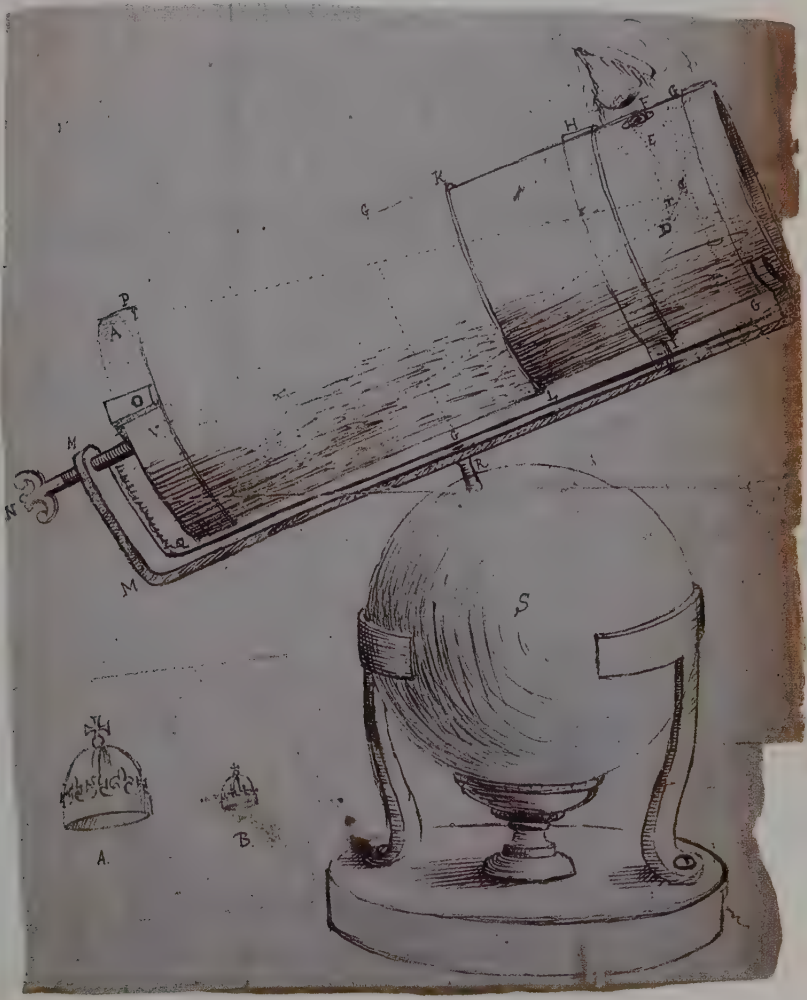
Evidemment, il reste de grosses difficultés. D'abord, les miroirs sont en métal, et le métal se polit mal – et se ternit vite. Ensuite, le grand miroir devrait être parabolique, et on ne sait le réaliser que sphérique. L'écart n'est pas grand, mais il suffit à rendre les images floues.

Newton parvient tout de même à construire son instrument, un tout petit télescope d'une vingtaine de centimètres de long. C'est justement cette compacité qui va séduire : les images sont «neuf fois plus grandes qu'avec une lunette quatre fois plus longue»!

Dès que sa description sera publiée par la Royal Society – en latin, pour donner à cette publication un caractère international – , le télescope de Newton va

faire parler de lui dans toute l'Europe. Oldenburg, qui sert de relais à la correspondance de la Royal Society, ne va pas cesser de transmettre à Newton les remarques et les questions de Huyghens, Auzout, Flamsteed, Hévélius, Gregory… et de transmettre à ceux-ci les réponses de Newton : du jour au lendemain, celui-ci est devenu célèbre.

La mise au point du télescope ne se faisait pas en déplaçant l'oculaire, mais l'objectif et tout l'arrière du tube, au moyen de la vis située à l'arrière.



Et le 11 janvier 1672, Newton est élu «fellow» de la Royal Society, lors de la séance où celle-ci apprend les détails de la mesure de la Terre par Picard.

Newton n'hésite plus : dès le mois de février 1672, il publie enfin sa théorie des couleurs

Il le fait, bien entendu, dans une longue lettre à Oldenburg, qui sera publiée dans le numéro suivant des *Philosophical Transactions*. C'est cette lettre qui commence par un récit de l'achat du prisme et du trou dans les volets... Elle décrit ensuite en détail l'«expérience cruciale», démontre la nécessité du télescope, et cite de nombreuses expériences prouvant

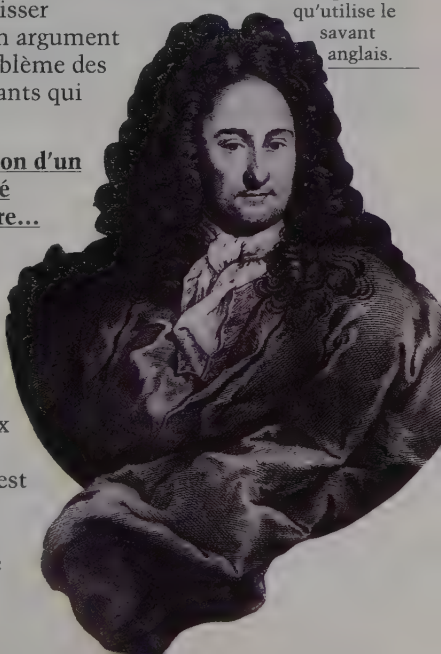
la justesse de la théorie, expériences que chacun peut refaire à loisir.

Oldenburg reçoit cette lettre le matin même d'une séance publique de la Royal Society. Cette séance se passe presque uniquement à lire et à commenter la lettre de Newton. L'assemblée applaudit longuement, et vote la publication immédiate, dès que trois membres, choisis à cet effet, auront refait les expériences décrites par Newton.

Parmi ces trois membres, il y a évidemment les deux principaux physiciens de la Royal Society, Boyle et Hooke. Ce dernier a déjà publié une ébauche de théorie ondulatoire de la lumière. Dans sa lettre, Newton souligne bien que sa théorie des couleurs ne s'appuie en aucune façon sur un modèle particulier de la nature de la lumière – ondulatoire ou corpusculaire – mais il indique tout de même sa préférence pour la deuxième hypothèse... Aussi Hooke, tout en reconnaissant l'immense intérêt des expériences de Newton, refuse d'admettre l'interprétation que celui-ci en donne. Il termine son rapport en disant qu'il ne demanderait pas mieux que de se laisser convaincre, si Newton présentait un argument décisif et que, de toute façon, le problème des couleurs est parmi les plus intéressants qui soient...

Entre 1667 et 1672, Newton continue ses recherches sur les couleurs, et accumule les arguments en faveur de sa théorie, qui soulèvera certes des réticences, mais pas de contradictions sérieuses.

Wilhelm Leibniz (1646–1716) est philosophe, théologien, historien et juriste, mais aussi – et peut-être surtout – mathématicien. En particulier, il met au point, en même temps que Newton, le calcul différentiel, et sous une forme appelée à un plus grand avenir que celle qu'utilise le savant anglais.



Ce que Newton craignait, l'opposition d'un membre éminent de la communauté scientifique, ne s'est pas fait attendre...

Les choses auraient peut-être pu s'arranger, mais Oldenburg a une dent contre Hooke, et ne résiste pas à la tentation de verser un peu d'huile sur le feu. Newton répond à Hooke sur un ton qui frise l'arrogance, et c'en est fini! Les deux hommes seront désormais des adversaires irréconciliables. Ceci n'est évidemment pas fait pour inciter Newton à publier ses idées sur la gravitation. Il jure même, comme le corbeau de la fable, qu'on ne l'y

prendra plus, et qu'il ne publiera plus jamais rien… Il s'enferme dans sa forteresse de Trinity College, à Cambridge, et ne la quittera pratiquement plus. Mais sa réputation est telle que cette retraite même fait du bruit : quelle merveille mathématique Newton est-il en train de concocter en silence?

On en devine le sujet grâce à une controverse – toujours par lettres à Oldenburg – avec le grand mathématicien allemand Leibniz : les deux hommes bâtissent le calcul différentiel, mais de deux manières différentes…

En même temps, Newton accepte encore de discuter des vertus du télescope, en particulier avec Huyghens. Celui-ci travaille pourtant, comme Hooke, à une théorie ondulatoire de la lumière. Il est même certainement plus avancé que le physicien anglais. Or, dûment informé par Oldenburg, dès le mois de

L'observatoire de Greenwich domine l'estuaire de la Tamise. Sans concurrencer vraiment l'observatoire de Paris sur le plan astronomique, il finira par le supplanter pour ce qui concerne la navigation : c'est le méridien de Greenwich (G.M.T : Greenwich Median Time) qui sert de référence mondiale.

mars, de la théorie des couleurs de Newton, Huyghens... fait la sourde oreille, et sa réponse ne parle que du télescope.

Aussi, les deux hommes restent en assez bons termes. En 1673, Huyghens envoie à Newton son traité sur la mécanique du pendule, l'*Orologium osiellatorium*, et Newton, en l'en remerciant, se propose de lui faire connaître l'état de son travail sur les arcs de courbe.

Cette réponse de Newton va avoir, dix ans plus tard, une conséquence inattendue, et d'une importance considérable : c'est elle, indirectement, qui est à l'origine des relations entre Newton et le seul savant qui saura lui inspirer confiance, qui le persuadera enfin de publier sa théorie de la gravitation, et qui dirigera fidèlement lui-même cette publication : Edmond Halley.

John Flamsteed (1646–1719). C'est lui qui presse le roi Charles II de fonder l'observatoire de Greenwich (1676,) dont il deviendra le directeur. Outre de nombreux travaux d'instrumentation, et une contribution importante à la cartographie (projection de Flamsteed), il est surtout connu pour son catalogue d'étoiles, le premier de l'astronomie moderne, répertoriant près de 3000 étoiles.

L'université d'Oxford est toujours champêtre, et la tour de Magdalen College se dresse encore parmi les arbres. Toutefois, les vaches se sont un peu éloignées...

Astronome professionnel, grand voyageur, sociable et débordant d'activité, Halley est aussi différent que possible du solitaire Newton

De quatorze ans plus jeune (il est né en 1656), il a une carrière plus rapide encore que celle de Newton, mais par une voie purement astronomique.

Il faut dire que l'époque s'y prête : en 1675, comme Louis XIV huit ans plus tôt et certainement pour ne pas être en reste, le roi d'Angleterre fonde l'observatoire de Greenwich, et nomme «astronome royal» John Flamsteed, qui s'attaque à un catalogue d'étoiles.

En 1676, Halley, passionné d'astronomie et encouragé par un père riche et cultivé, interrompt à vingt ans ses études à Oxford pour aller passer deux ans à Sainte-Hélène. Il veut y dresser un catalogue des étoiles de l'hémisphère Sud, encore très mal connues, qui viendra heureusement compléter celui de Flamsteed.

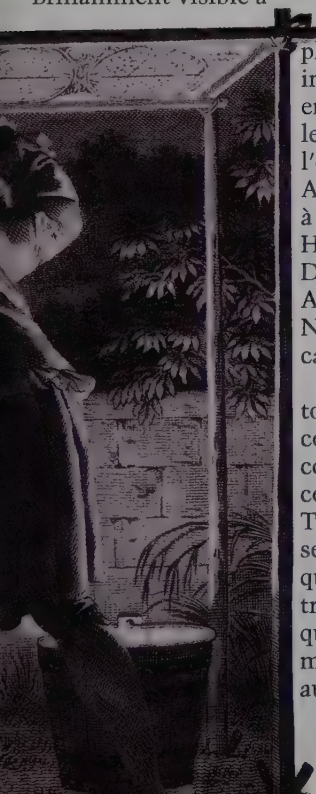
Par ailleurs, comme Richer à Cayenne, quatre ans plus tôt, Halley constate que le pendule bat plus lentement à Sainte-Hélène qu'en Europe... Rentré en Angleterre en 1678, il passe ses examens et ne tarde pas à être élu à la Royal Society. Il a vingt-deux ans...

Son jeune âge ne l'empêche pas d'être envoyé à Dantzig chez Hévélius pour tenter d'apaiser une querelle qu'a celui-ci avec Hooke. En 1680 et 1681, il voyage en France et en

Italie, rencontre Cassini et les autres astronomes de l'Observatoire, et compare avec les leurs ses observations de la comète de 1680. Car le temps des comètes est arrivé...

En 1680, puis en 1682, deux comètes spectaculaires viennent agiter le milieu des astronomes

Elles posent d'une façon urgente le problème de la mécanique du ciel, déjà soulevé par la comète de 1664. Il y a plusieurs comètes chaque année, mais la plupart sont imperceptibles, sauf avec des instruments perfectionnés. Aussi, des années peuvent s'écouler sans qu'une comète brillante apparaisse. Au XVIIe siècle, il n'y en a eu aucune entre 1618 et 1664 – mais celle-ci valait la peine qu'on l'attende... Brillamment visible à l'œil nu pendant six semaines, elle est restée plusieurs mois à portée des instruments, pourtant encore rudimentaires. Tous les astronomes d'Europe l'ont suivie nuit après nuit : Auzout en France, Cassini à Rome, Huyghens en Hollande, Hévélius à Dantzig et Hooke en Angleterre. Même le jeune Newton en parle dans ses carnets d'étudiant.

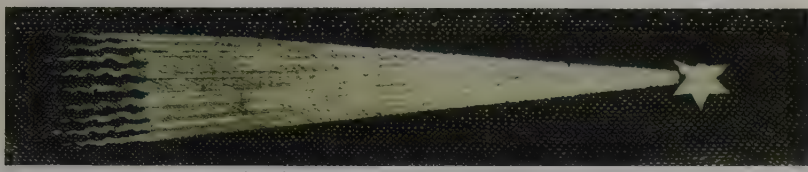


L'une des questions que tout le monde se pose est celle de la trajectoire des comètes. Décrivent-elles des cercles, comme le pensait Tycho Brahé? Des droites, selon l'avis de Kepler, pour qui la courbure de leur trajectoire n'était qu'apparente, et due au mouvement de la Terre autour du Soleil?

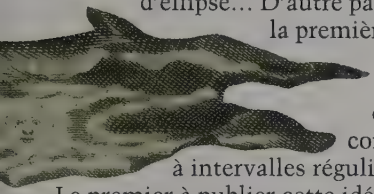
La comète de 1664 va à la fois répondre à cette

Le problème du cartographe stellaire est qu'il doit passer sans cesse de la contemplation du ciel nocturne à celle de sa feuille de papier, et que si celle-ci est bien éclairée, il faudra ensuite plusieurs minutes à son œil pour se réadapter à la lumière faible des étoiles. La solution consiste à éclairer la feuille le moins possible, et en lumière rouge, moins nuisible de ce point de vue : quoi de mieux pour cela qu'un brasero rempli de braises rougeoyantes? Ce système a l'avantage supplémentaire de dispenser une douce chaleur, bien appréciable aux petites heures de la nuit...

F



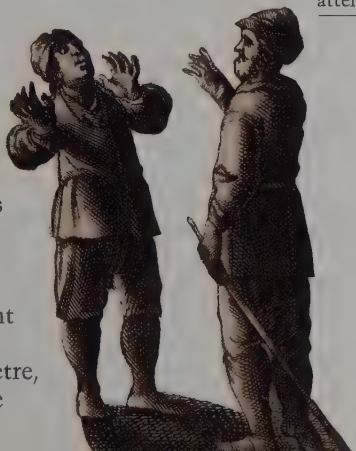
question, et en poser de plus importantes encore. D'abord, il est clair que sa trajectoire est réellement courbe. Hévélius suggère que ce pourrait être un arc d'ellipse... D'autre part, on imagine pour la première fois que cette trajectoire pourrait être fermée, c'est-à-dire que la même comète pourrait revenir à intervalles réguliers.



Le premier à publier cette idée est l'astronome français Pierre Petit, dans sa *Dissertation sur la nature des comètes* (1665). Il suggère que la comète de 1664 pourrait bien être la même que celle de 1618. Hooke semble avoir eu la même idée, et l'avoir exposée en mars 1665 lors d'une conférence sur la comète. Le rôle historique de la comète de 1664 ne s'arrête pas là. C'est sans doute elle qui est à l'origine de la création de l'observatoire de Paris... En effet, elle attirait l'attention de tous, et même des courtisans : Petit a dédié sa *Dissertation* à Louis XIV, et c'est à ce moment qu'Auzout a plaidé en faveur de la création d'un observatoire.

Enfin, et peut-être surtout, c'était une comète «rétrograde», tournant autour du Soleil en sens inverse de la grande valse des planètes et de leurs satellites. Autrement dit, elle prenait à contre-courant les «tourbillons» de Descartes, et posait de façon manifeste le problème de la cause des mouvements célestes. L'étudiant Newton parle de cette comète dans ses carnets : elle est peut-être, au moins autant que la fameuse

Les comètes ont très longtemps été annonciatrices de catastrophes, et on leur prêtait un aspect effrayant : serpents, flammes, épées de feu... En effet, les hommes n'ont jamais perdu l'habitude de voir dans le ciel un tableau noir, où les dieux leur écrivent des messages. Apparaissant soudainement, les comètes devaient être des messages très urgents, c'est-à-dire l'annonce d'une catastrophe imminente. Et comme il était bien rare qu'une année se passe sans sécheresse, famine, inondation ou épidémie, le malheur prévu se faisait rarement attendre...



Aspect de la comète de 1664, le 24 décembre à Nuremberg.

pomme, à l'origine de ses réflexions de cette année-là sur la gravitation...

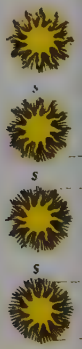
En tout cas, si la question se pose à propos de Newton, elle ne se pose pas à propos de deux hommes que les comètes, à vingt ans d'intervalle, mettent sur la piste de l'attraction universelle : Hooke et Halley.

Hooke, à propos de la comète de 1664, et Halley, à propos de celle de 1680, pressentent une «attraction universelle». Mais ce n'est pas la même...

Même s'il étudie des sujets très variés, comme tous les savants de son époque, Hooke est d'abord «mécanicien» : la loi physique qui porte encore son nom traite de la force des ressorts. C'est peut-être pour cette raison qu'il cherche dans des dispositifs mécaniques des modèles de l'attraction qu'il pressent entre les corps du système solaire.

Or, il y a un dispositif simple qui permet de décrire des ellipses – comme les orbites des planètes – par suite d'une attraction vers un centre : un simple pendule. Si on l'écarte de sa position d'équilibre et si on le lâche, il oscille sur un arc de cercle de part et d'autre de cette position d'équilibre. Mais si, après l'avoir écarté de sa position d'équilibre, on le lance en travers au lieu de le lâcher sans vitesse, il décrit

Quatre comètes dessinées par Hévélius. Johann Hévélius, brasseur et maire de Dantzig, était passionné d'astronomie et partageait cette passion avec sa femme. On lui doit plusieurs instruments et de nombreuses observations, en particulier sur Saturne et sur les comètes.

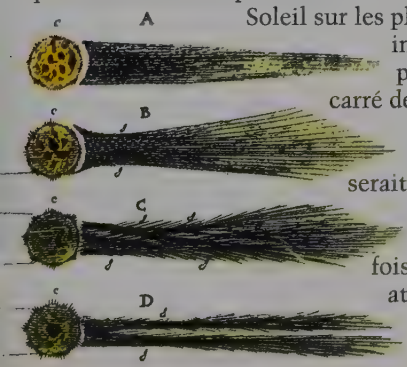


autour de ce centre une courbe presque elliptique, qui peut même être un cercle si l'impulsion de départ est bien calculée. Hooke étudie ce système, échange même à ce propos quelques lettres avec Newton, qui répond de façon évasive. Mais ce n'est pas vraiment un modèle satisfaisant, parce que le «centre d'attraction» – la position d'équilibre du pendule – est au centre de l'ellipse au lieu d'en occuper un foyer comme le fait le Soleil pour les orbites des planètes. Malgré cela, Hooke s'appuie sur ce modèle pour imaginer une attraction inversement proportionnelle à la distance : un corps situé deux fois plus loin est attiré deux fois moins fort.

La trajectoire apparente d'une comète dans la *Dissertation sur la nature des comètes* de Pierre Petit (1665). Les observations successives permettent de suivre d'un jour à l'autre le déplacement apparent de la comète par rapport aux constellations, ainsi que la taille et la direction de sa queue. Mais l'essentiel de cette trajectoire est parcouru en quelques jours, et ne représente qu'une infime portion de l'orbite, dont il est difficile de déterminer la forme d'ensemble.

Halley, vingt ans plus tard, et à propos d'autres comètes, se pose ainsi le problème de l'attraction, mais en tant qu'astronome, à partir de la troisième loi de Kepler. Celle-ci constate une relation entre les dimensions des orbites des planètes et le temps qu'elles mettent à les parcourir (le cube du diamètre est proportionnel au carré du temps).

En admettant que ces orbites sont des cercles – ce qui n'est pas une erreur trop grande –, Halley montre que cette loi correspond bien à une attraction du Soleil sur les planètes, attraction inversement proportionnelle au carré de la distance : un corps situé deux fois plus loin serait attiré quatre fois moins fort, un corps situé trois fois plus loin serait attiré neuf fois moins fort, et ainsi de suite.

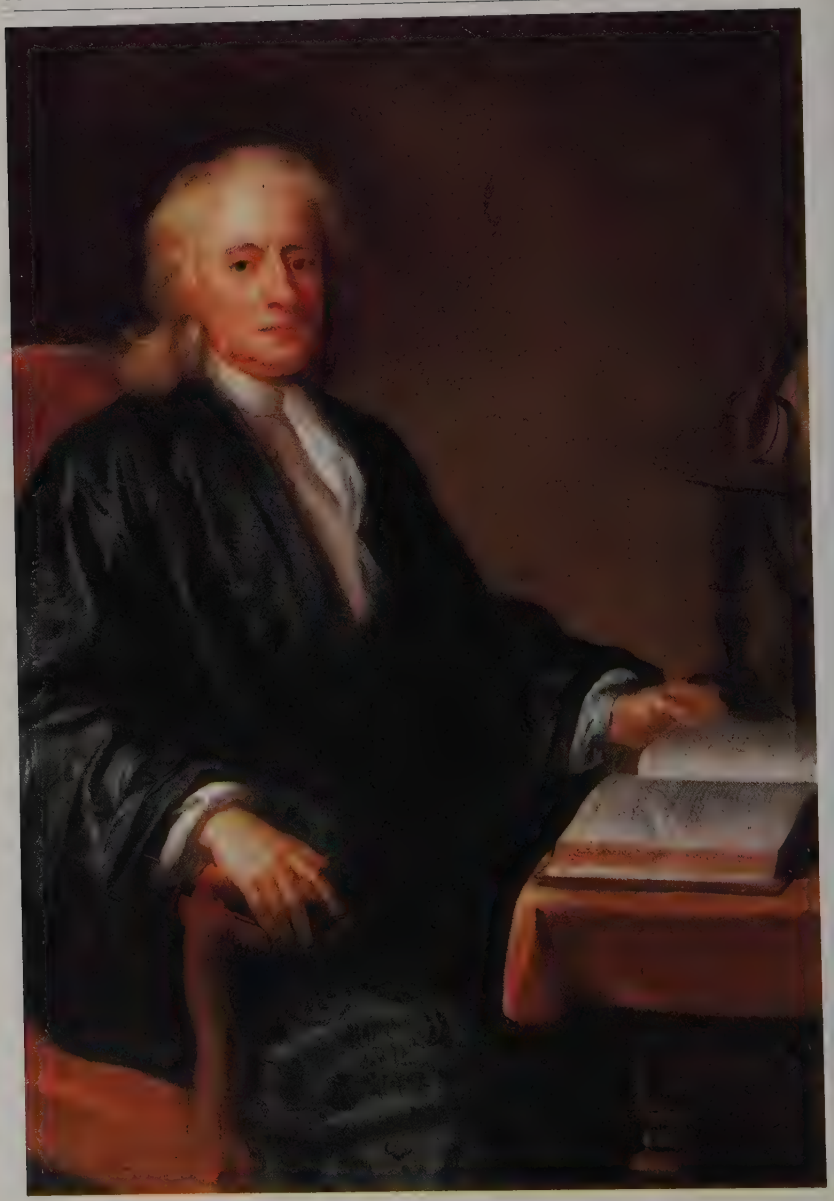


Une telle attraction expliquerait-elle la plus importante des lois de Kepler, celle qui donne aux planètes des orbites elliptiques? Halley essaie de le démontrer, n'y parvient pas, en parle à Hooke et à d'autres collègues,

La comète de 1680 à Nuremberg : l'artiste s'est laissé entraîner par l'émotion ...

qui ne l'éclairent pas plus. Finalement, en août 1684, il décide de poser la question à celui qui passe pour en savoir plus que personne sur les courbes et leurs propriétés, Isaac Newton...

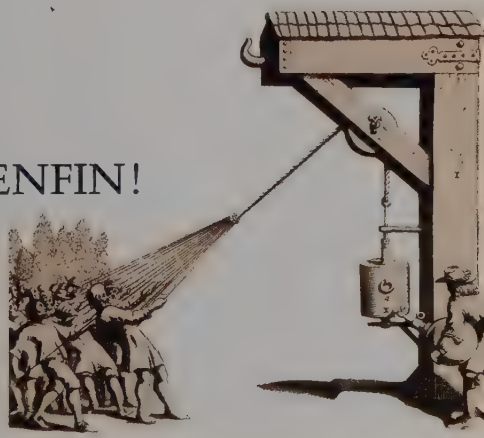
Si brillante qu'ait pu être la comète, elle n'a pu illuminer ainsi le paysage.



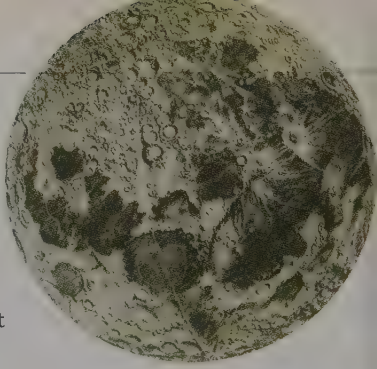
Au mois d'août de l'année 1684, Halley se rend à Cambridge pour soumettre à Newton un problème qu'il n'arrive pas à résoudre, et qui laisse perplexes les autres membres de la Royal Society. Newton lui montre alors une solution complète de ce problème, rédigée plusieurs années auparavant. Il n'y a plus de doute : tous les mouvements du système solaire peuvent s'expliquer par une seule loi, celle de la gravitation. Il ne reste qu'à convaincre Newton de la publier.

CHAPITRE IV

L'ATTRACTION UNIVERSELLE, ENFIN!



Avec les *Principia*, c'est vingt ans de travaux que Newton va publier, dans tous les domaines de la mécanique.



Ainsi, Newton a complètement rempli, et depuis plusieurs années, le programme mathématique qu'il s'était fixé dès «l'année merveilleuse» 1665-1666. Les méthodes qu'il a mises au point lui permettent d'étendre aux ellipses les calculs qu'il pouvait alors faire sur les cercles. Jointes à la seule hypothèse de l'attraction universelle, elles lui permettent de démontrer les lois de Kepler – jusque-là simple description du mouvement observé des planètes. Halley est évidemment ébloui…

Les méthodes mathématiques de Newton lui permettent aussi de démontrer ce qu'il avait d'abord dû admettre au sujet d'une grosse sphère : qu'elle agissait comme si toute sa masse était concentrée en son centre. Ainsi, pour la chute de la pomme, c'est bien la distance au centre de la Terre qui compte. De plus, cette distance – le rayon de la Terre – est maintenant connue avec précision.

Grâce aux mesures de Picard, Newton peut vérifier l'exactitude de sa loi

PAR MR. L'ABBE' PICARD.

Circonférence de la Terre.

Toiſes de Paris.	2054160
Lieuës de 25 au degré.	900
Lieuës de Marine.	720

Diametre de la Terre.

Toiſes de Paris.	6538593
Lieuës de 25 au degré.	2865
Lieuës de Marine.	2292

Pour son calcul approché de 1666, comparant la pomme et la Lune, Newton ne disposait que d'une estimation grossière du rayon de la Terre. Cinq ans plus tard, Picard mesurait ce rayon avec précision, mais c'est seulement en 1682 que Newton a connaissance de ce résultat, évidemment important pour lui.

Si important, même, que sa légende place ici une anecdote presque aussi belle que celle de la pomme. Sitôt appris ce résultat, Newton se serait précipité à sa table de travail pour refaire, avec cette nouvelle valeur du rayon terrestre, son calcul sur la pomme et la Lune. Mais le calcul se passe si bien, les chiffres se

Il est curieux que Newton n'ait eu connaissance du résultat de Picard que plusieurs années après sa publication. Il se tenait en effet au courant des conclusions publiées par les Français, et il a connu très tôt l'« accourcissement » du pendule battant la seconde à l'équateur, constaté par Richer à Cayenne, et vérifié plus tard (1681-1682) par une expédition envoyée à cet effet par l'Académie au Cap-Vert et dans les Antilles. Cette expédition avait aussi pour objectif de déterminer avec précision les longitudes de ces endroits, connues jusque-là de façon tout à fait approximative, et nécessaires à l'établissement de cartes dignes de confiance.

L'apparition, dans la constellation de la Vierge, de la comète de 1680, s'accompagne à Rome de phénomènes extraordinaires : les poules pondent, en chantant de façon éclatante, des œufs portant des signes mystérieux, en rapport avec l'aspect et le déplacement de la comète. Pour chaque œuf, la date et l'heure de sa ponte sont scrupuleusement notées. Comme ces gravures le montrent clairement, les croyances dans les pouvoirs mystérieux des comètes sont encore très vivaces en 1680. On remarque en particulier la référence de la position aux constellations du zodiaque, auxquelles s'attachent, aujourd'hui encore, les superstitions astrologiques.

rangent avec tant de bonne volonté pour donner raison à Newton que celui-ci, trop ému pour aller jusqu'au bout, doit demander à un ami de finir le calcul à sa place...

En tout cas, dès 1682, la pomme et la Lune vérifient avec une grande précision l'hypothèse d'une attraction inversement proportionnelle au carré de la distance.

A l'occasion des grandes comètes de 1680 et 1682, Newton se remet à l'astronomie

Il écrit plusieurs lettres à Flamsteed, l'astronome royal, pour lui demander ses tables d'observation de ces comètes, ainsi que celles que lui transmet Cassini depuis l'observatoire de Paris. Or, la comète de 1680 a un mouvement beaucoup plus courbe que celle de 1664, à tel point que les astronomes se demandent s'il ne s'agit pas de deux comètes différentes, l'une en décembre 1680 et l'autre en janvier 1681...

Evidemment, on s'interroge sur les causes de ce mouvement. Flamsteed, dans une lettre à Newton, suggère une attraction et une répulsion magnétiques exercées tour à tour sur la comète par les deux pôles du Soleil. Newton lui fait remarquer qu'un aimant chauffé au rouge perd son pouvoir, et qu'il doute donc du caractère magnétique de l'action du Soleil sur la comète. Cette action, Newton refuse d'ailleurs

Dans les jardins de l'Observatoire, Cassini scrute la comète de 1682 – que l'on baptisera plus tard la «comète de Halley». Le vif intérêt manifesté par les personnages, ainsi que la présence parmi eux de plusieurs dames, révèle que, même dans cette ambiance scientifique, la charge émotionnelle des comètes reste importante.

d'admettre qu'elle puisse à un certain moment être répulsive. Il semble plutôt prêt à accepter l'idée qu'il s'agit de deux comètes différentes...

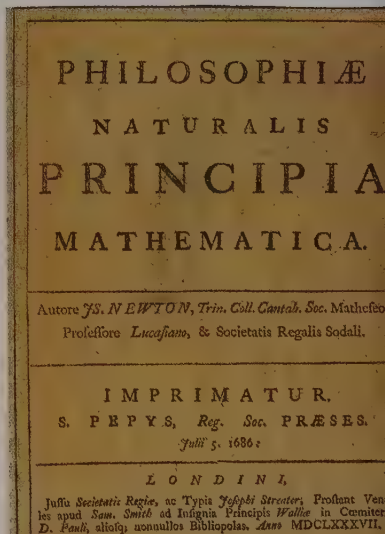
Comme on le voit, la comète est au centre des discussions. Or, en 1682, une comète plus brillante encore se présente, que l'on étudie évidemment avec un soin extrême, dès son apparition. Pour celle-ci, qui deviendra plus tard la «comète de Halley», les éléments de trajectoire sont assez précis pour se prêter aux calculs – et fournir plus tard une vérification de plus à la théorie de Newton.

Newton, qui gardait pour lui ses extraordinaires découvertes, se laisse convaincre par Halley qu'il doit les faire connaître

Parmi les raisons de ce brusque changement d'attitude, la plus importante est très certainement l'amitié qui naît entre les deux hommes : pour la première fois peut-être de toute sa vie, Newton fait confiance à quelqu'un. Et disons-le tout de suite : cette confiance ne sera jamais déçue.

Mais Newton doit aussi se rendre compte que le moment est venu de proclamer ses découvertes, s'il ne veut pas risquer de voir un autre le devancer. Halley est visiblement sur la trace d'une attraction inversement proportionnelle au carré de la distance, et d'après ce qu'il dit, Hooke également. D'autre part, le rival de Newton en mathématiques, Leibniz, vient de publier ses méthodes de calcul, différentes de celles de Newton, certes, mais aussi fructueuses, si ce n'est plus...

Halley retourne à Londres, Newton lui promet de lui envoyer, avant la fin de l'année, une copie des démonstrations qu'il lui a révélées, pour que Halley puisse les présenter à la Royal Society, d'abord pour en enregistrer officiellement l'existence, et ensuite pour envisager la publication d'un ouvrage beaucoup plus volumineux, où Newton exposerait tous les travaux en mécanique, et leurs applications aux mouvements des astres.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *IS. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Justu *Societatis Regiæ*, ac Typis *Josephi Streater*; Prostant Venales apud *Sam. Smith* ad Insignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio *D. Pauli*, aliosq; nonnullos Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

Avant même que Halley lui rapporte les réactions favorables de la Royal Society, Newton s'attaque à la rédaction des «Principia»

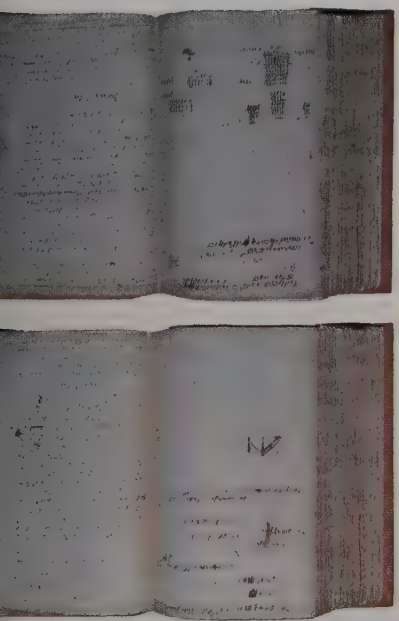
Il va rédiger en moins de deux ans les deux premiers volumes de son ouvrage, *Principia mathematica philosophiae naturalis* – la physique s'appelle encore «philosophie naturelle».

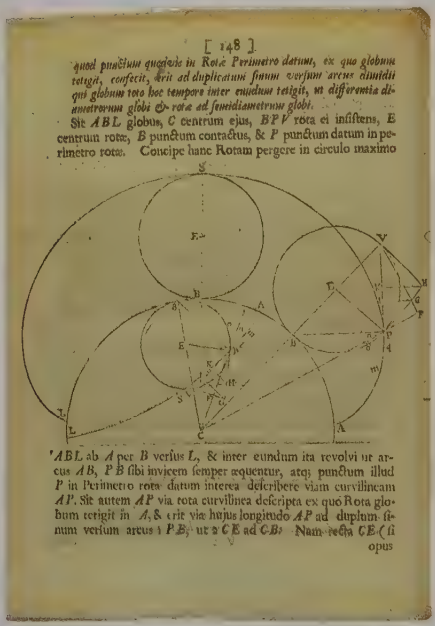
Ces deux volumes contiennent toute sa théorie, aussi bien la gravitation (en particulier la démonstration sur la grosse sphère) que les lois générales qu'il a établies pour décrire les mouvements, et les mettre en relation avec les forces qui les déterminent. Ces lois – que nous appelons les «lois de Newton» – vont gouverner pendant plus de deux cents ans toute la mécanique. Newton les applique déjà à tous les domaines : il étudie les chocs, le pendule, les projectiles, la résistance de l'air, l'équilibre des liquides, la propagation des vibrations et en particulier du son,

etc. Bref : de balbutiante et décousue qu'elle était, la physique devient brusquement un ensemble ordonné, harmonieux, presque architectural ! Du jour au lendemain, la fillette mise au monde par Galilée est devenue adulte…

Quant aux applications de sa théorie aux mouvements de tous les corps célestes – y compris, bien entendu, les comètes –, Newton les réserve pour un troisième volume. Cela ne l'empêche pas d'y travailler pendant qu'il rédige les deux premiers : dès la fin de 1684, il demande à Flamsteed, en plus des

L'édition originale des *Principia* (1686) avec l'imprimatur du président de la Royal Society, Samuel Pepys. Comme la page ci-dessous permet de le voir, la lecture est assez ardue…





Au centre, quelques pages de corrections de Newton sur le manuscrit des *Principia*.

données sur les mouvements des comètes, des renseignements sur les dimensions des orbites des satellites de Jupiter et de Saturne. A ce propos, il révèle qu'il a effectivement délaissé l'astronomie pendant des années : il ignore que Cassini a découvert Japet en 1761 et Rhéa en 1672, et pour lui Saturne n'a toujours qu'un seul satellite, Titan, découvert en 1656 par Huyghens, presque en même temps que la véritable nature de l'anneau…

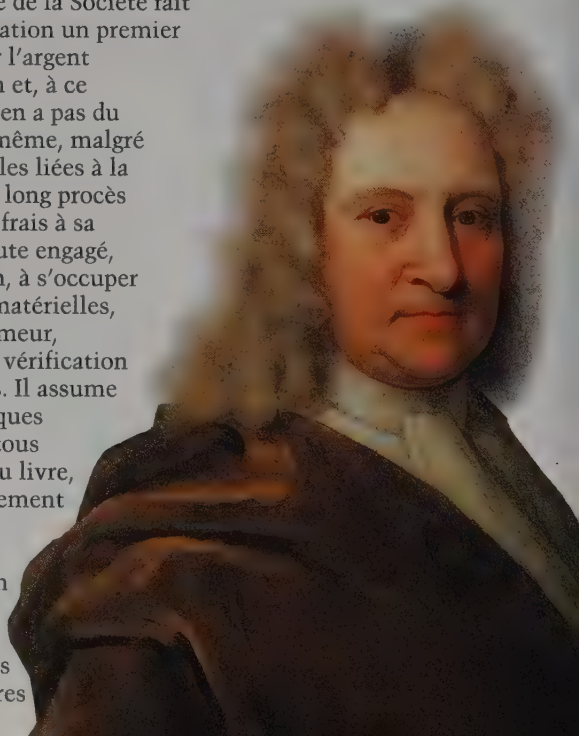
Ce troisième volume est évidemment celui qui intéresse le plus les non-mathématiciens. Or, il a bien failli ne jamais paraître, et il a fallu toute la diplomatie de Halley pour que Newton accepte de le publier.

Newton dédie les «Principia» à la Royal Society, qui reçoit en avril 1686 le manuscrit des deux premiers volumes

Elle décide aussitôt d'en ordonner l'impression. Pour qu'un livre soit imprimé, la loi anglaise de l'époque exige une autorisation officielle (un imprimatur) que très peu de personnes sont habilitées à donner : l'archevêque de Cantorbéry, l'évêque de Londres, les chanceliers des universités d'Oxford et de Cambridge, et enfin le président de la Royal Society.

La décision immédiate de la Société fait donc franchir à la publication un premier obstacle. Reste à trouver l'argent nécessaire à l'impression et, à ce moment-là, la Société n'en a pas du tout... C'est Halley lui-même, malgré des difficultés personnelles liées à la mort de son père et à un long procès d'héritage, qui prend les frais à sa charge. Il s'était sans doute engagé, pour convaincre Newton, à s'occuper de toutes les questions matérielles, discussions avec l'imprimeur, correction des épreuves, vérification des calculs et des figures. Il assume maintenant aussi les risques financiers. Il est donc à tous points de vue l'éditeur du livre, et un éditeur particulièrement attentif aux désirs de l'auteur : dès le 7 juin 1686, il envoie à Newton une épreuve de la première page, pour que ce dernier donne son avis sur le papier, les caractères

Edmond Halley (1656-1742) n'est pas seulement l'«accoucheur» des *Principia*. Ses travaux personnels sont considérables. En astronomie, outre son catalogue du ciel austral et ses études sur les comètes, il a aussi découvert l'amas globulaire d'Hercule, et mis en évidence en 1718 le mouvement propre des étoiles.



et la dimension des figures. De toute façon, Newton est à ce moment préoccupé par un autre aspect de la question : Hooke revendique la paternité de l'attraction universelle...

Ses réclamations ne semblent guère prises au sérieux, sauf évidemment par Newton... Ulcéré, celui-ci renonce à publier son troisième volume : «La Philosophie, écrit-il à Halley (il faut lire «la physique»), est une Dame si impertinente et chicanière qu'il vaudrait autant s'engager dans des procès que d'avoir affaire à elle. Je l'ai constaté autrefois, et maintenant je ne me suis pas aussitôt approché d'elle que j'en reçois un nouvel avertissement...»

Halley, évidemment, s'emploie à le faire revenir sur sa décision, et finalement Newton se laisse fléchir, sans doute en grande partie parce qu'il se rend compte que, sans le troisième volume, les *Principia* se vendront moins bien, et que son refus risquerait donc de ruiner son seul ami...

Et dans le numéro 186 des *Philosophical Transactions*, au début de 1687, Halley – qui en est devenu rédacteur en chef – a le plaisir de rédiger un commentaire, évidemment dithyrambique, sur les *Principia*, en vente «dans plusieurs librairies». Ouf!

Les idées de Newton sont enfin présentées au public. Il reste à voir ce que celui-ci va en tirer.

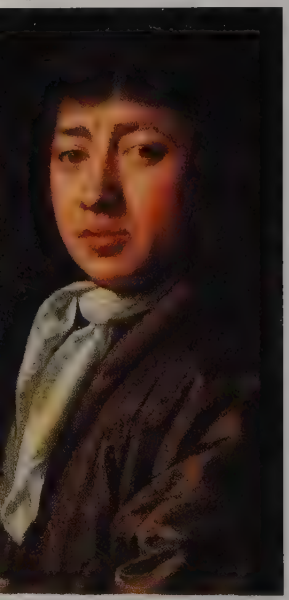
Halley est ce que l'on appellerait maintenant un géophysicien. Il a étudié en détail le champ magnétique terrestre, les marées et les courants, et surtout il a fait progresser considérablement la compréhension des phénomènes météorologiques. C'est ainsi qu'il a fourni la première explication des alizés, par les mouvements verticaux des masses d'air plus ou moins chauffées par le Soleil. C'est lui encore qui a exposé le premier cycle de l'eau : évaporation, nuages, pluie, rivières, océan, évaporation, etc. Ainsi, il a pressenti le premier le rôle dirigeant des échanges de chaleur dans la physique terrestre, c'est-à-dire précisément ce que laisse de côté l'«univers-horloge» de Newton.

L'effet des «Principia» sur les contemporains peut se résumer facilement : tout le monde admire, personne ne comprend...

C'est vrai d'abord, bien entendu, du «grand public», c'est-à-dire des gens instruits et curieux qui ne sont pas des professionnels de la science. Les *Principia* sont austères : il s'agit d'un traité résolument mathématique et, à part peut-être le troisième volume, pratiquement incompréhensible pour le public. Pourtant, celui-ci l'accueille bien, lui fait même un succès, et tente courageusement d'en comprendre au moins une partie.

Cette attitude *a priori* étonnante révèle l'intérêt général de l'époque pour les progrès scientifiques, et surtout peut-être pour les mathématiques. En

dehors de l'accueil fait aux *Principia*, on rencontre partout des preuves de cet intérêt. Citons-en une, particulièrement révélatrice. Samuel Pepys, le président de la Royal Society qui a signé l'imprimatur des *Principia*, était vingt ans plus tôt un jeune secrétaire d'Etat à la Marine. A ce moment, son journal intime de 1665 nous le raconte, il prenait des cours particuliers de mathématiques, pour apprendre à faire des divisions! Et ce n'était pas seulement pour son travail : il en tirait tant de plaisir qu'il a retenu ensuite le même professeur pour sa femme...



C'est donc avec appétit que ce public se tourne vers les *Principia*, dont tous les savants – et Halley le premier, bien entendu – vont répétant que c'est le chef-d'œuvre du nouvel esprit scientifique. Mais la noix est dure à croquer... Sans pour autant se décourager, ce public réclame des interprètes, des vulgarisateurs.

Là encore, Halley prend les devants. Pour présenter au roi, en 1687, la première édition complète des *Principia*, il rédige une longue lettre, qui est aussitôt publiée sous le titre de *Discours au roi sur les marées*. Il y détaille, dans un style accessible à tous, l'un des multiples résultats de Newton : la première explication complète des marées, par la différence d'attraction exercée par la Lune au centre de la Terre et à sa surface.

Le sujet est bien choisi : à la fois physique et astronomique, à la fois phénomène naturel et enjeu économique... Halley est décidément non seulement un grand savant et un diplomate avisé, mais aussi un vulgarisateur exceptionnel! Il est vrai que ce choix

Samuel Pepys (1633-1703) a tenu entre 1659 et 1669 un journal intime, rédigé dans une sténographie personnelle, qui n'a été déchiffrée qu'en 1825. Ce journal est un extraordinaire document sur la vie quotidienne à Londres pendant une période particulièrement riche en événements.

Les cafés de Londres, au XVIIe siècle, étaient un des centres de la vie intellectuelle et sociale.

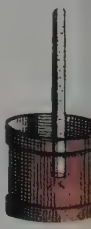
s'explique sans doute aussi par son amour de la mer, qu'il parcourra bientôt lui-même en tous sens pour en faire la carte magnétique, pour étudier les courants, les ports... Mais qu'importe! On ne parle bien que de ce qu'on aime : portant à la fois sur les *Principia* et sur la mer, le *Discours* de Halley est éloquent, et redouble l'intérêt général pour le livre de Newton.

L'accueil des savants révèle curieusement le même mélange de respect et d'incompréhension

Outre Halley, qui sait évidemment les *Principia* par cœur, et en a épluché la moindre virgule en les publiant, il y a peut-être en Europe une dizaine de savants capables de les comprendre entièrement dans un délai raisonnable : Huyghens, Leibniz, le malheureux Hooke, Roemer...

Mais il y en a beaucoup plus qui, sans suivre le détail des démonstrations, sont capables d'apprécier l'importance des résultats, et la perspective d'ensemble. Or, celle-ci soulève un problème de fond,

Juste après la mort de Galilée (1642), l'un des grands enjeux du débat scientifique a trait aux pompes à eau : leur fonctionnement repose-t-il sur l'« horreur du vide », comme on le répète depuis Aristote, ou sur la pression de l'air, comme le soutient un assistant de Galilée, Torricelli? C'est Pascal qui mettra fin, dès 1648, à l'explication par l'« horreur du vide », grâce à une série d'expériences détaillées, qui seront publiées plus tard dans son traité sur l'« équilibre des liqueurs ».



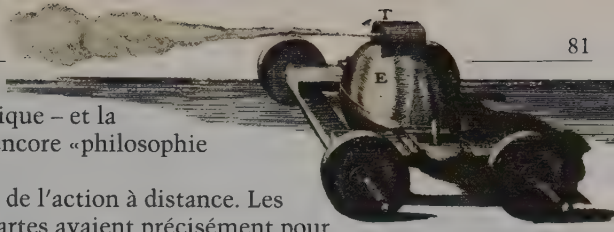
un problème vraiment philosophique – et la physique s'appelle encore «philosophie naturelle»...

C'est le problème de l'action à distance. Les tourbillons de Descartes avaient précisément pour rôle d'expliquer les mouvements des astres par l'impulsion exercée à leur contact par une matière invisible. L'idée d'une action à distance, s'exerçant sans contact à travers des millions de kilomètres de vide, est un retour inadmissible à la physique des Anciens, avec ses «qualités mystérieuses». On évoque à ce propos l'horreur du vide qui, avant Torricelli et Pascal, servait à «expliquer» la montée de l'eau dans les pompes...

Newton se défend de cette comparaison, dans une lettre à Halley : «Je ne suis pas du tout, dit-il, celui qui invoque l'horreur du vide : je suis seulement celui qui montre que l'eau monte dans les pompes...» Et en effet, il refuse de se laisser entraîner dans un débat sur la nature physique de l'attraction universelle : il a dégagé une loi de la nature, sous une forme mathématique qui permet de calculer tous les mouvements constatés. Il s'est bien gardé de spéculer sur la réalité de l'agent qui exerce et transmet l'attraction.

Mais ses collègues, eux, ne l'entendent pas de cette oreille : unanimes à applaudir la construction théorique – ils disent «mathématique» – de Newton, ils sont aussi unanimement réticents devant les implications philosophiques que, contrairement à lui, ils sont incapables d'éluder. Cette attitude est très bien résumée dans l'article publié en 1688 par le *Journal des sçavans* pour présenter les *Principia* en France. Cet article salue «une Mécanique la plus parfaite que l'on puisse imaginer», mais demande à Newton de «nous donner une Physique aussi exacte qu'est la Mécanique», c'est-à-dire de se prononcer sur la nature réelle de l'attraction.

Or, les premiers tâtonnements en ce sens devront attendre le XXe siècle et la relativité générale... En revanche, la «mécanique parfaite», elle, va aller pendant des siècles de triomphe en triomphe...

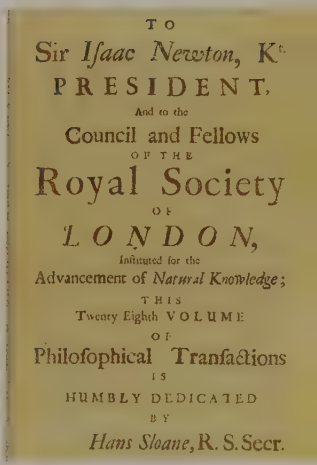


Ce «chariot à réaction», propulsé par un jet de vapeur, n'a sans doute jamais existé : c'est un exemple, donné au milieu du XVIIIe siècle, d'application possible de la troisième loi de Newton, la loi de l'action et de la réaction. Les trois lois de Newton régissent en effet toute la mécanique, et n'importe quel dispositif où le mouvement intervient est forcément gouverné par ces lois - de nos jours aussi bien qu'à son époque : si ce «chariot à réaction» est sans doute imaginaire, nous connaissons, nous, des appareils bien réels reposant sur le même principe...

La plus belle confirmation, pour une théorie, est que ses prédictions se réalisent : expliquer un phénomène déjà constaté est une chose, prévoir un phénomène encore inconnu, puis constater son existence, en est une autre... En 1735, l'Académie des sciences décide de vérifier l'une des prédictions de Newton : l'aplatissement de la Terre aux pôles.

CHAPITRE V
DE TRIOMPHE EN TRIOMPHE

En cent cinquante ans, la théorie de la gravitation va permettre successivement de prévoir l'aplatissement de la Terre, la date du retour de la comète de Halley, et enfin l'existence d'une planète nouvelle!

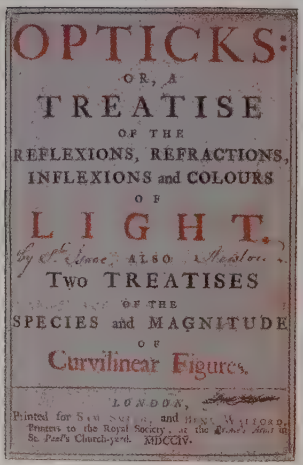

TO
Sir *Isaac Newton*, K^t
PRESIDENT,
And to the
Council and Fellows
OF THE
Royal Society
OF
LONDON,
Inſtituted for the
Advancement of *Natural Knowledge*;
THIS
Twenty Eighth VOLUME
OF
Philoſophical Tranſactions
IS
HUMBLY DEDICATED
BY
Hans Sloane, R. S. Secr.

Cinquante ans après les *Principia*, où en sont les idées newtoniennes en France? En 1699, Newton a été élu associé étranger de l'Académie des sciences. A sa mort, en 1727, son éloge sera donc prononcé par le secrétaire perpétuel, Fontenelle – qui est aussi l'auteur de la première biographie de Newton…

Entre-temps, la publication du deuxième grand ouvrage du savant anglais, l'*Optique* (1704), a relancé la controverse entre cartésiens et newtoniens, controverse d'ailleurs beaucoup plus nuancée qu'on le dit souvent. Ainsi, le plus proche héritier de Descartes, Malebranche, a une attitude plutôt conciliatrice, et anime un groupe de savants beaucoup moins «antinewtoniens» qu'on aurait pu le prévoir.

Au moment de la mort de Newton, le XVIIIe siècle est bien engagé; l'un de ses enjeux en France est la liberté de penser

Aux obsèques solennelles de Newton, c'est à cela que rêve un jeune auteur français récemment sorti de la Bastille, interdit de séjour à Paris


OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
LIGHT.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.
LONDON,
Printed for SAM SMITH, and BENJ. WALFORD,
Printers to the Royal Society, at the Prince's Arms in
St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

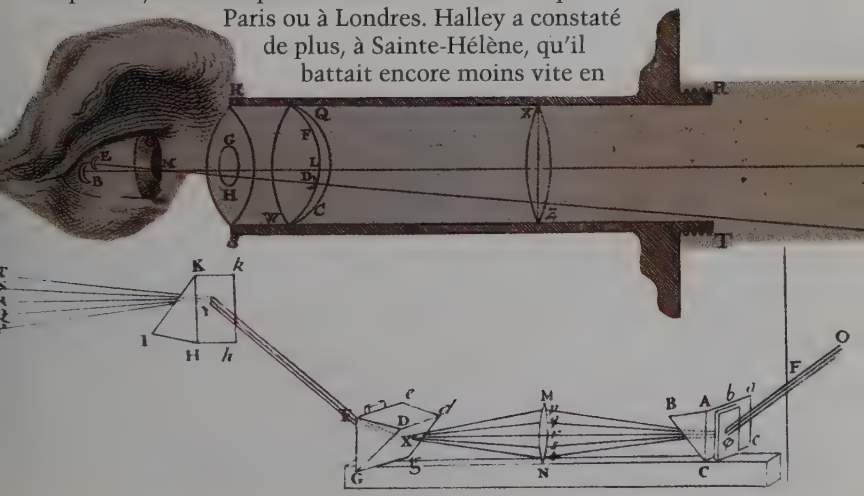
et réfugié à Londres. Il s'appelle Voltaire, et ses *Lettres anglaises* vont donner le coup d'envoi du siècle des lumières – et lui valoir, bien sûr, de nouvelles poursuites. Et s'il ne cesse jamais d'admirer Descartes, Newton et ses idées deviennent pour lui, et pour ses lecteurs, l'enjeu d'une sorte de lutte des Modernes contre les Anciens, les «Anciens» étant, non pas Descartes, mais ceux qui mettent Voltaire en prison dès qu'il élève la voix…

De là vient le retentissement des expéditions décidées en 1735 et 1736 par l'Académie des sciences pour vérifier l'une des prédictions de Newton, l'aplatissement de la Terre aux pôles. Que la Terre soit aplatie, c'est sans doute le cadet des soucis de Voltaire… Mais que la science l'emporte sur les préjugés, que Newton, citoyen exemplaire du pays qui incarne alors la liberté de penser, ait raison contre l'autorité établie, cela, oui, lui importe beaucoup.

En 1704, Newton, âgé de soixante-deux ans, publie son deuxième ouvrage important, intitulé tout simplement *Optique*. Cette fois encore, il y regroupe une foule de découvertes, théoriques ou appliquées, et un nombre impressionnant d'expériences de toutes sortes. Ces expériences, les savants français vont les refaire, patiemment, dès qu'ils disposeront de la version en latin de ce traité. Et leur réussite contribuera malheureusement à la mise à l'écart – provisoire – de la théorie ondulatoire développée vingt ans plus tôt par Huyghens.

La question de l'aplatissement remonte aux constatations faites sur le pendule, d'abord par Richer à Cayenne, puis par Halley à Sainte-Hélène

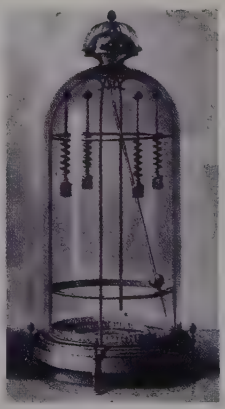
Ils ont constaté tous deux que, dans ces régions tropicales, le même pendule battait moins vite qu'à Paris ou à Londres. Halley a constaté de plus, à Sainte-Hélène, qu'il battait encore moins vite en



haut d'une montagne que sur la plage. C'est d'ailleurs cette deuxième constatation qui est à l'origine des réflexions de Hooke sur la décroissance de l'attraction...

Car si le pendule bat moins vite, tout le monde est d'accord, c'est que la pesanteur est moins forte. On pense d'abord que cet effet est dû à la force centrifuge, plus grande à l'équateur puisque le cercle parcouru en vingt-quatre heures est plus grand. Mais cela ne rend compte que de la moitié de la différence constatée... D'où vient l'autre moitié? Pour Newton – et il le démontre –, du fait qu'un point de l'équateur est plus loin du centre de la Terre que ne l'est Paris ou Londres, c'est-à-dire que la Terre n'est pas une boule parfaite, mais une boule un peu aplatie, comme un oursin ou une mandarine.

Si on parvenait à le vérifier, cet aplatissement serait un argument décisif en faveur de la théorie de Newton. Or, si la Terre est effectivement plus «bossue» à l'équateur qu'au pôle, la distance à parcourir le long d'un méridien pour que la verticale tourne d'un degré doit être plus faible à l'équateur : sur une bosse, la verticale tourne plus vite. Il faudrait donc refaire à l'équateur la mesure du «degré de méridien» déjà effectuée en France par Picard : si la longueur mesurée à l'équateur est plus faible, c'est que la Terre est aplatie, et que donc Newton a raison.



L'expédition du Pérou a rencontré beaucoup plus de difficultés que celle de Laponie, et son travail a duré plus de deux ans. Mais elle a obtenu des résultats excellents, meilleurs, on s'en apercevra plus tard, que ceux de Maupertuis.

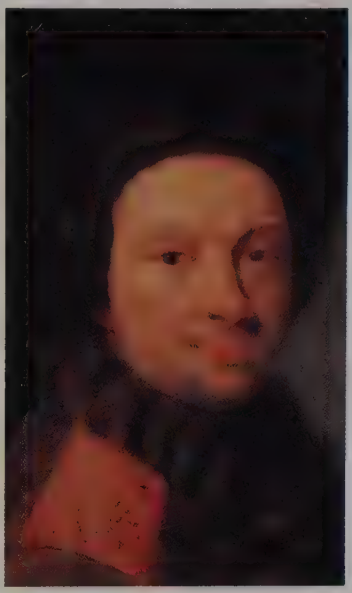
En 1735, l'Académie envoie au Pérou une expédition, dirigée par Bouguer et La Condamine, pour y effectuer cette mesure.

L'expédition du Pérou se heurte à de graves difficultés. A Paris, Maupertuis s'impatiente...

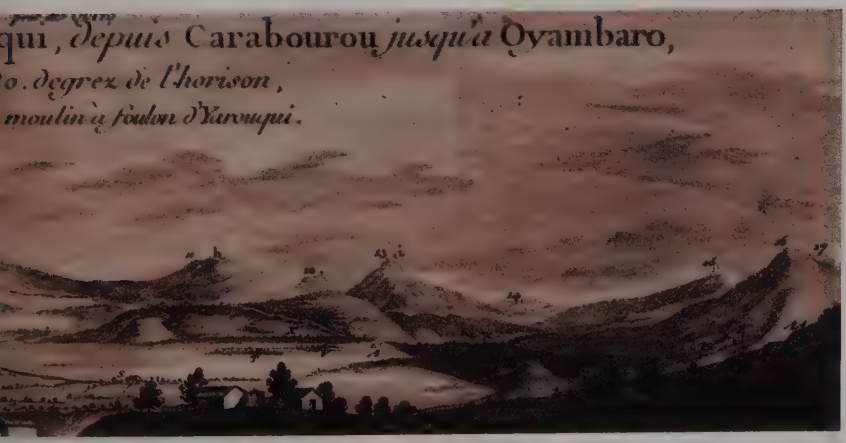
Mathématicien, biologiste, linguiste à ses heures, Maupertuis est depuis 1728 l'un des plus ardents partisans de Newton en France, et il a largement contribué à faire décider l'expédition au Pérou. Il arrive maintenant à persuader l'Académie d'abord, puis le gouvernement du roi Louis XV, qu'il faut envoyer une autre expédition, cette fois vers le nord, en Laponie.

Il en obtient la direction, et se choisit des compagnons très jeunes. Clairaut, par exemple, est déjà académicien depuis cinq ans; c'est un des premiers mathématiciens de son temps, et il a vingt-trois ans... Camus est un peu plus vieux, mais Le Monnier est encore plus jeune : l'expédition prend des allures d'escapade.

En plus de ces quatre académiciens, l'équipe comprend un astronome suédois,



Maupertuis, portraituré à son retour d'expédition en costume d'explorateur arctique...



Le campement en haut de la montagne de Niemi, dessiné par Outhier. Au sommet, le «signal», pylône conique en troncs de sapin écorcés (pour qu'il soit visible de loin). C'est lui qui marque l'un des sommets du système de triangles, et pour viser les autres on place les instruments à l'intérieur, à l'aplomb de son sommet. Pour dégager la vue dans les directions importantes, il a fallu abattre un certain nombre de sapins.

Anders Celsius, qui servira d'interprète, et un cartographe, l'abbé Outhier. Fort aimable et curieux de tout, celui-ci publiera à son retour un récit du voyage, qui est un modèle du genre, et grâce auquel on peut suivre l'expédition jour après jour…

Partie de Paris le 20 avril 1736, l'équipe arrive début juillet à Tornéa, tout au nord de la Baltique

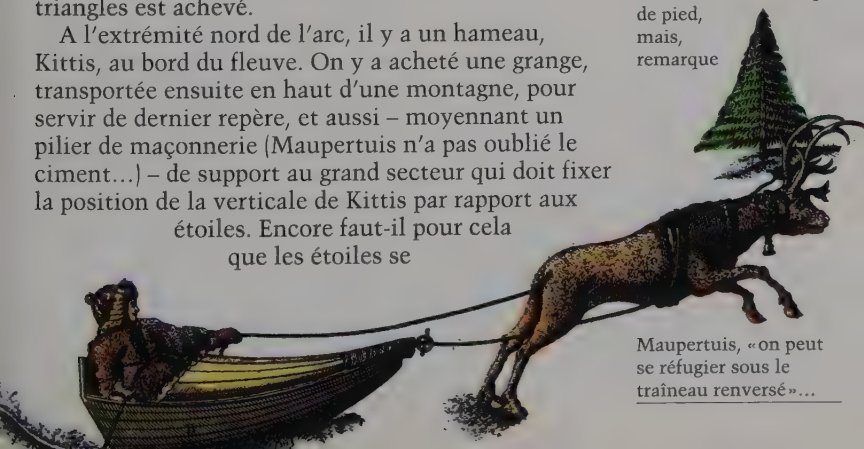
Cette «ville» de quelques maisons de bois est l'extrémité sud de l'arc de méridien à mesurer. Au nord s'étend sans fin la forêt de Laponie, dont il n'existe évidemment pas la moindre carte. Il s'agit d'y trouver des sommets où l'on puisse construire des repères et placer les instruments de visée, de manière à réaliser un système de triangles analogue à celui de Picard – mais dans de tout autres conditions… Heureusement, le fleuve de Tornéa coule du nord au sud, et il est plus ou moins navigable en barque, si on connaît ses rapides…

Maupertuis embauche des paysans, qui seront guides, rameurs, porteurs, bûcherons quand il faudra dégager la vue en haut des montagnes. Il achète des peaux de renne, pour «dormir sur la terre», et le 7 juillet, une flottille de barques s'engage sur le fleuve, avec les précieux instruments et «les choses les plus indispensables pour la vie». Six semaines plus tard, malgré les taillis, les marécages et les redoutables moustiques lapons, le système de triangles est achevé.

A l'extrémité nord de l'arc, il y a un hameau, Kittis, au bord du fleuve. On y a acheté une grange, transportée ensuite en haut d'une montagne, pour servir de dernier repère, et aussi – moyennant un pilier de maçonnerie (Maupertuis n'a pas oublié le ciment…) – de support au grand secteur qui doit fixer la position de la verticale de Kittis par rapport aux étoiles. Encore faut-il pour cela que les étoiles se

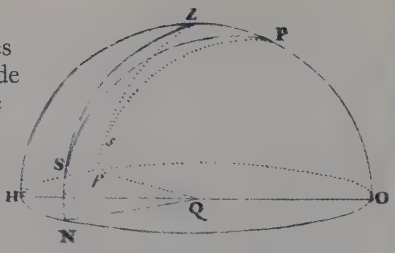
Le hameau de Kittis, extrémité nord du tronçon de méridien à mesurer. On y reconnaît dans tous leurs détails les diverses constructions de bois qui forment les villages du nord de la Scandinavie, y compris la grande «échelle» pour faire sécher le foin. Tout en haut à gauche, on distingue les constructions transportées en haut de la montagne pour servir d'observatoire. Il faut en effet pointer la verticale, par rapport aux étoiles, avec un soin tout particulier, puisque Kittis est l'une des extrémités du segment à mesurer.

Pour circuler en hiver, Maupertuis «s'abandonne à la vélocité d'un renne demi-sauvage», dans un traîneau lapon qui se renverse souvent. Le renne furieux vient alors donner des coups de pied, mais, remarque



Maupertuis, «on peut se réfugier sous le traîneau renversé»…

montrent : c'est seulement au milieu d'octobre que le ciel s'éclaircit quelques nuits, et l'expédition n'a que le temps de rentrer à Tornéa quatre jours avant que le fleuve soit gelé jusqu'à la mer! On remonte le secteur sur un autre pilier, pour pointer la verticale de Tornéa et on prépare les perches pour arpenter la base du système, un tronçon de dix kilomètres sur la surface gelée du fleuve.



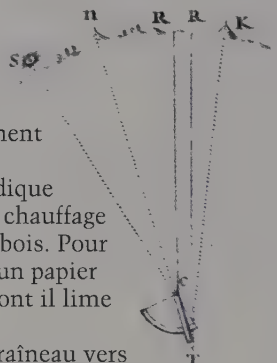
Pour l'arpentage, Maupertuis a emmené une copie en fer de la toise du Châtelet, et un thermomètre de Réaumur...

En effet, cette barre de fer ne mesure vraiment une toise que «dans une pièce où le thermomètre de Monsieur de Réaumur indique quinze degrés». On règle donc pour cela le chauffage de la pièce où Camus taille ses perches de bois. Pour ajuster leur longueur «à l'épaisseur près d'un papier mince», il plante à chaque bout un clou, dont il lime tout doucement la tête.

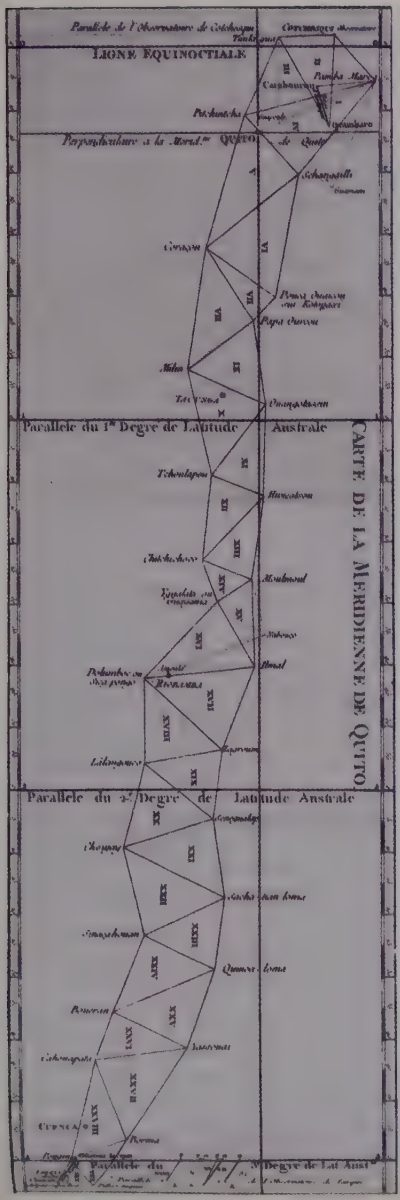
Le 20 décembre, toute l'équipe part en traîneau vers la base à mesurer. Il fait moins vingt degrés, la glace du fleuve est couverte de soixante centimètres de neige, et le soleil se lève vers midi pour se coucher une heure plus tard...

Malgré cela, en une semaine, la base est mesurée deux fois, et entre les deux mesures il n'y a qu'une différence de quatre pouces (une dizaine de centimètres).

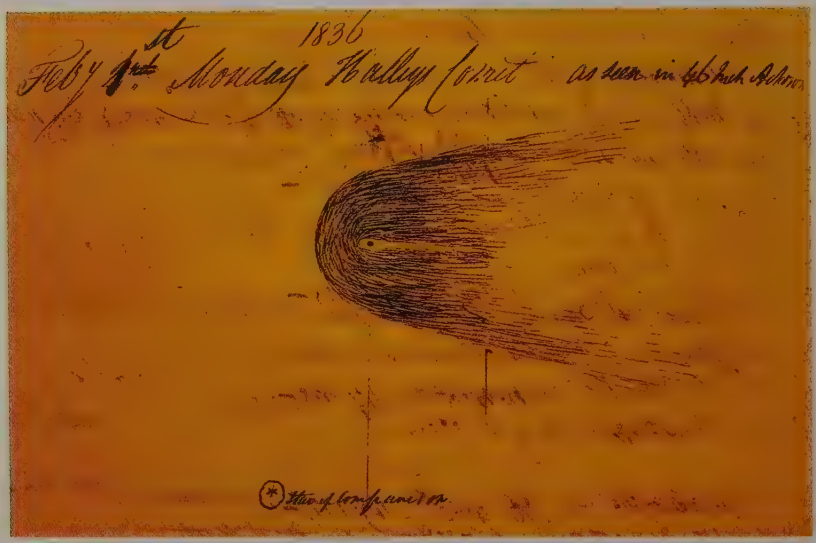
Rentrés à Tornéa, les académiciens n'ont plus qu'à faire les calculs. Comme le fait remarquer Maupertuis, ce sont des calculs faciles et, de toute façon, Clairaut est là... En quelques jours, les opérations sont achevées : pour tourner de un degré en Laponie, il faut parcourir le long du méridien 57 395 toises. En France, Picard en avait trouvé 57 060 : la Terre est bien aplatie aux pôles! Deux ans plus tard, après avoir surmonté des difficultés énormes, l'expédition du Pérou achève ses mesures, qui confirment tout à fait celles de Laponie : plus personne ne peut douter de l'aplatissement de la Terre.



Après leurs retours respectifs, Maupertuis en 1738 et Bouguer en 1749 publieront leurs résultats sous le titre *La Figure de la Terre*. Outre des schémas de principe, ces ouvrages présentent les cartes détaillées des systèmes de triangles utilisés dans les deux cas, l'un près de Quito et l'autre en Laponie, le long du fleuve de Tornéa.


LIGNE EQUINOCTIALE
Perpendiculaire a la Merid.ne QUITO
Parallele du 1er Degre de Latitude Australe
CARTE DE LA MERIDIENNE DE QUITO
Parallele du 2e Degre de Latitude Australe
Parallele du 3e Degre de Lat Aust

CARTE DU FLEUVE DE TORNEA
dans l'Espace compris par les Operations Trigonomet.
Kittis Montagne
Pullingi
Niemi M.
Ligne du Cercle Polaire
Horrilakero
Avt Saxa
Cuitaperi Montagne
Kakama
Niwa
TORNEA



Soixante ans après leur parution, les «Principia» connaissent une première confirmation, éclatante. La deuxième va venir de la comète de Halley

Le troisième volume des *Principia* fait une place assez large aux comètes. En particulier, Newton émet l'hypothèse que certaines pourraient avoir des trajectoires fermées, suivant des ellipses très allongées, dont seule l'extrémité proche du Soleil serait accessible à nos observations. Ces comètes-là devraient mettre toujours le même temps à faire un tour, et donc revenir à intervalles réguliers.

Pour tenter de confirmer cette hypothèse, Halley, en 1695, rassemble les observations de comètes faites dans le passé, tout au moins dans un passé assez récent pour que l'on ait noté quelques éléments de la trajectoire apparente. Remontant à une époque sans instruments, son enquête doit forcément se limiter aux comètes les plus brillantes.

Il remarque ainsi que la trajectoire de la comète de 1682 ressemble beaucoup à celles des comètes de 1607 et de 1531. Si c'est bien la même comète, sa période est donc de soixante-quinze ou soixante-seize ans, et elle devrait revenir en 1757 ou 1758.

Une fois connue la période de la comète de Halley, on peut rechercher dans les archives du passé des traces de ses visites précédentes. On a pu ainsi, avec quelques «trous», remonter fort loin : - 466, - 239, - 86, - 66, 141, 218, 295, 374, 451, 530, 607, 684, 760, 837, 912, 989, 1066, 1145, 1222, 1301, 1378, 1456, 1531, 1607, 1682, 1759, 1835, 1910, 1986.

D'après la Bible, une «étoile» a guidé les Rois mages vers la crèche... Comète? Nova? Sur ce tableau de Giotto, il n'y a aucun doute : l'«étoile», c'est la comète de Halley, qui est venue en 1301 semer, comme d'habitude, l'inquiétude et l'émerveillement.

Halley et Newton tentent de tenir compte d'un ralentissement de la comète par l'attraction de Jupiter

Halley annonce en 1705 son retour pour «la fin de 1758 ou le début de 1759». A mesure que l'époque approche, l'excitation monte : va-t-on assister à une nouvelle confirmation de ce que l'on appelle encore les «idées newtoniennes»?

En France, les newtoniens s'inquiètent un peu des inexactitudes qu'a nécessairement comportées le calcul de Halley : ne conviendrait-il pas de refaire ce même calcul, avec les méthodes plus fines dont on dispose à présent?

ISTI MIRANT STELLA

HAROLD

Вчетвертокъ февраля 26 дня 1744 го
Изъ ширтатены вѣдомляютъ что декабря 28 дня поутрѣ вничилъ в часа вѣ
лѣнитъ нинѣсколько миль отъ помянутаго города на западъ оно предстовля
рая распространялся на востокъ производилъ тишю асность что тящи
шись поборои нинѣшторевшихся повоздухѣ щитавшись вдругъ раздѣлился на 4 разны
шртатен на востокъ вчетвертои на западъ и притомъ здѣлался тишои местнои гром
нинѣ его слышны былъ еще 4 другие тише вдали нонѣшнѣ слышь пашъ первои курез

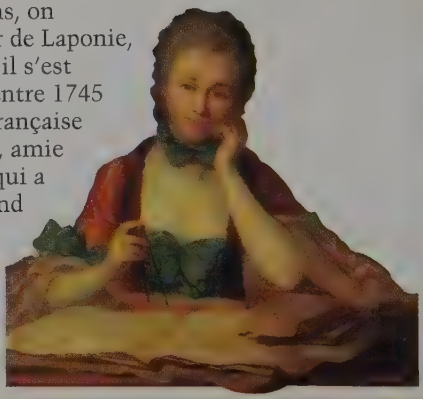
La saga des comètes

Les comètes ne sont pas les seuls spectacles inhabituels qui apparaissent dans le ciel. Voici les «phénomènes célestes» observés à Carthagène en 1743. Nul doute que, deux cents ans plus tard, les O.V.N.I. eussent fait la première page des journaux! En effet, le ciel n'est pas seulement l'ensemble des astres, c'est aussi l'atmosphère, avec ses mouvements, ses poussières et ses brumes, où la lumière se disperse, se diffuse, se réfracte en produisant halos, taches, arcs, croix, etc., souvent fugitifs, mais parfois persistants. Et comme tout ce qui apparaît dans le ciel continue d'inquiéter les hommes, l'imagination embellit ces apparitions...

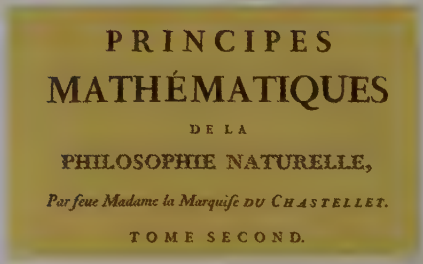
La page précédente montre la comète de Halley en 1066 (tapisserie de Bayeux), c'est-à-dire pendant l'expédition de Guillaume le Conquérant contre les Anglo-Saxons à Hastings : elle annonce sûrement un malheur, mais pour lequel des deux camps?

N° 6 — La jolie Comète ne connait plus rien depuis tantôt 75 ans, aussi la Ville de Paris s'empressera de lui montrer les *Grands Magasins du Bon Marché*, dont une visite incognito lui dévoilera les merveilles.

Au premier rang de ces newtoniens, on retrouve Clairaut. Depuis son retour de Laponie, sa réputation n'a fait que grandir, et il s'est engagé sans réserve pour Newton : entre 1745 et 1748, il a travaillé à une édition française des *Principia*, avec Mme du Châtelet, amie et protectrice de Voltaire (c'est elle qui a abrité celui-ci dans son château quand les *Lettres anglaises* lui ont valu de nouveaux ennuis). Dans un commentaire ajouté à cette édition, Clairaut a évoqué le retour de la comète en 1758, disant que ce serait là un moment bien flatteur pour les partisans de M. Newton.



Aussi n'est-il pas étonnant que Clairaut, en 1757, décide de refaire les calculs de Halley, en tenant compte cette fois des perturbations de plusieurs planètes, grâce aux méthodes de calcul approché qu'il vient de passer huit ans à mettre au point pour d'autres calculs astronomiques.


PRINCIPES
MATHÉMATIQUES
DE LA
PHILOSOPHIE NATURELLE,
Par feue Madame la Marquise DU CHASTELLET.
TOME SECOND.

Clairaut s'attaque à un calcul «d'une longueur effroyable», comme le souligne son assistant Lalande. Heureusement, il y a Hortense…

Il ne s'agit pas d'un ordinateur, mais presque : Hortense Lepaute, calculatrice de l'Observatoire, a passé sa vie à aligner des chiffres. Le calcul mis en route par Clairaut va l'occuper, avec le jeune Lalande, six mois à plein temps.

Le nom d'Hortense Lepaute – ou plutôt son prénom – a d'ailleurs été immortalisé quelques années plus tard d'une façon assez touchante. En 1761, l'astronome Le Gentil part pour les Indes, afin d'observer le passage de Vénus devant le Soleil, méthode imaginée par Halley pour faire une nouvelle mesure du système solaire. Il y a chaque siècle deux de ces passages, séparés par un intervalle de huit ans.

Ayant manqué de peu celui de 1761, à cause de retards imposés par la guerre avec les Anglais,

« C'est ainsi que la Vérité,
Pour mieux établir sa puissance,
A pris les traits de la beauté,
Et les grâces de l'Eloquence. »
Ce quatrain en l'honneur de la marquise du Châtelet ne montre pas seulement qu'en 1745 la théorie newtonienne s'appelait tout simplement «la Vérité»… Il révèle aussi que nos ancêtres, à cette époque, avaient déjà compris qu'une femme intelligente n'est pas nécessairement laide.

Le Gentil décide d'attendre sur place celui de 1769. Il construit un observatoire, apprend la langue, étudie l'astronomie indienne… En juin 1769, le temps est uniformément splendide, sauf pendant le passage de Vénus, qui a lieu derrière un nuage. Désespéré, épuisé, malade, Le Gentil cesse de donner de ses nouvelles. Il rentre en France en 1771, pour apprendre qu'il est officiellement mort, et donc remplacé à l'Académie. Il essaie par ailleurs de récupérer son héritage, par un procès qu'il perd, et dont les frais achèvent de le ruiner.

Mais il a ramené quelque chose des Indes : une fleur, inconnue en Europe, qu'il dédie à Hortense

Deux trajectoires possibles pour le retour de la comète en 1758-1759. Cette gravure est due à Charles Messier (1730-1817), célèbre pour son catalogue des objets célestes autres que des étoiles (amas, nébuleuses…). L'amas d'Hercule, par exemple, s'appelle Messier 13, ou M 13. Et la galaxie d'Andromède s'appelle Messier 31 ou M 31.

Lepaute, et à laquelle il donne par conséquent le nom d'hortensia...

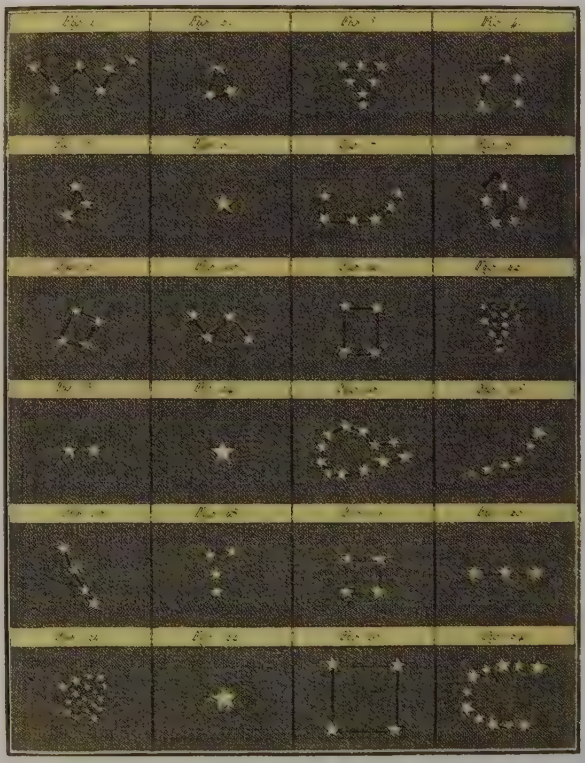
Clairaut annonce le retour de la comète pour la mi-avril 1759, à un mois près

Plus exactement, ce qu'il prévoit à cette date, c'est le passage de la comète à son «périhélie», le point de sa trajectoire le plus proche du Soleil.

Or, elle revient comme prévu, mais passe au périhélie le 14 mars, juste à la limite de la marge d'erreur admise par Clairaut... Et tandis qu'une partie des astronomes applaudit, d'autres soutiennent que cela ne valait pas la peine de faire d'aussi longs calculs pour arriver à un résultat à peine plus précis que celui de Halley. Comme d'habitude, il s'agit surtout de règlements de comptes personnels, et au premier rang des critiques, on trouve d'Alembert, qui ne s'est jamais entendu avec Clairaut, et Le Monnier, son ancien compagnon de Laponie, devenu ensuite un adversaire de plus en plus virulent...

En tout cas, si on discute le travail de Clairaut, on ne discute pas celui de Halley – ni la confirmation éclatante qu'apporte aux théories de Newton le retour de la comète, à laquelle, sur proposition de l'astronome Lacaille, on donne dorénavant le nom de comète de Halley.

A chaque retour de la comète, les moyens de l'observer et de la représenter ont évolué : gravure en 1835, photographie en 1910, couleurs artificielles rendant compte de la température en 1986. Lors de ce dernier passage, on est allé voir la comète de près : les deux sondes soviétiques «Véga» et la sonde européenne «Giotto» l'ont frôlée, et cette dernière l'a même «traversée» à quelques kilomètres de son noyau.



Les représentations du ciel évoluent aussi. En dessinant la Grande Nébuleuse d'Orion, en 1774, Herschel représente le mieux possible ce qu'il voit dans son oculaire. C'est vague, flou, indistinct : de là, le nom de Nébuleuse que va porter non seulement cette catégorie d'objets (les nuages de gaz de notre galaxie), mais aussi tout ce qui est flou, en particulier les autres galaxies, comme la nébuleuse d'Andromède.
En revanche, sur cette reproduction tardive de dessins anciens sur «les lieux visités par la Lune», chaque étoile a scrupuleusement cinq branches...

Et les retours ponctuels de cette comète, en 1835, 1910 et 1986, viennent à chaque fois rappeler à la mémoire des hommes celui qui écrivait, en 1705 : «... et si donc elle revient encore, suivant notre prédiction, vers l'an 1758, la postérité se souviendra que c'est à un Anglais que l'on en doit la découverte...» Grâce à Lacaille, la postérité se souvient même que cet Anglais s'appelait Edmond Halley.

Vingt ans plus tard, un autre Anglais découvre une autre comète... ou du moins ce qu'il prend pour une comète!

William Herschel est à coup sûr le modèle, presque le patron, des astronomes amateurs. Musicien de son

À la fin du XIXe siècle, la photographie est venue au secours des astronomes : comment auraient-ils pu dessiner ce champ d'étoiles? Même à travers sa petite lunette, Galilée voyait déjà dans la constellation d'Orion beaucoup plus d'étoiles qu'il n'aurait pu en dessiner. En effet, si Orion n'est pas exactement dans la Voie lactée, il y a quand même dans cette direction un bras spiralé de notre galaxie, et donc des millions d'étoiles faibles. Cette photographie couvre un champ plus grand que le dessin de Herschel, et la Grande Nébuleuse est la tache lumineuse double située près du bord gauche. En face, près du bord droit, on distingue les trois étoiles du «baudrier» d'Orion, celle du haut étant noyée dans une autre nébulosité. Ces gigantesques nuages de gaz, rendus lumineux par les étoiles qu'ils contiennent, sont d'un intérêt primordial pour la compréhension de l'évolution de l'Univers, et en particulier de la naissance des étoiles.

état, d'abord dans une armée allemande, puis dans la ville d'eau anglaise de Bath, il joue du hautbois dans l'orchestre, de l'orgue à la chapelle, et donne des leçons de musique. Cela, pendant la journée. La nuit, il est astronome quand le ciel est clair, et opticien quand il est couvert, car il taille et polit lui-même les miroirs de ses télescopes (plus de deux cents miroirs!). Nul n'a jamais su quand Herschel dormait...

Il observe surtout, fidèlement aidé par sa sœur Caroline, les étoiles : qu'y aurait-il encore de nouveau dans le système solaire? Il dresse ainsi des listes d'étoiles doubles, d'étoiles colorées, de nébuleuses.

Petite tache floue dans le télescope de Herschel, Uranus révèle peu de détails, même sur ces photos rapprochées prises par la sonde «Voyager 2» C'est que la planète a une atmosphère épaisse. Mais ses satellites, eux, n'en ont pas, et révèlent des détails extraordinaires.

Sa première découverte importante, en 1774, est la Grande Nébuleuse d'Orion, où les astrophysiciens modernes voient une pépinière d'étoiles naissantes.

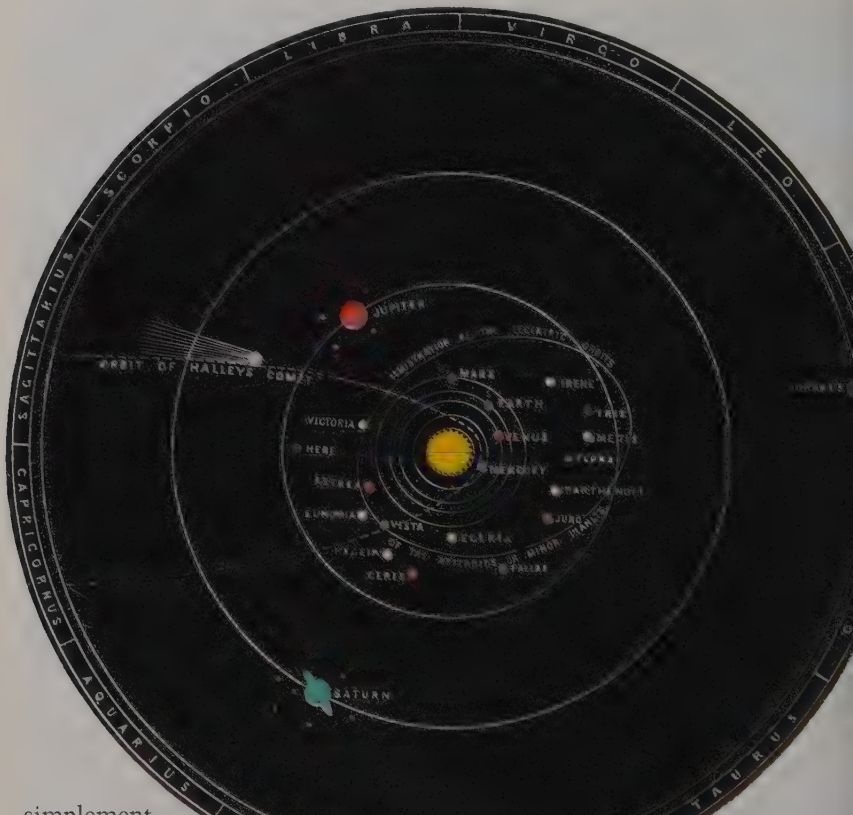
Au cours de son exploration systématique des champs d'étoiles, il tombe sur un objet bizarre. Le 13 mars 1781, il note sur son registre «une étrange étoile nébuleuse, peut-être une comète». Les nuits suivantes, la chose se déplace... Herschel est donc persuadé d'avoir découvert une comète : le 26 avril, il fait à la Royal Society une communication intitulée «Account of a comet» (compte rendu d'une comète).

Tous les astronomes d'Europe se mettent à calculer les éléments de l'ellipse très allongée que doit décrire la nouvelle comète. Peine perdue. Au bout de quelques mois, il faut se rendre à l'évidence : elle décrit autour du Soleil une trajectoire presque circulaire, deux fois plus grande que celle de Saturne. C'est une planète.

Le Soleil a donc une septième planète! Le retentissement de cette découverte est inimaginable!

Depuis la préhistoire, le Soleil a cinq planètes (en plus de la Terre, bien sûr) : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne. C'est une certitude, une évidence, et la découverte d'une deuxième Lune ferait à peine plus de bruit que celle d'une nouvelle planète!

Comment va-t-on l'appeler? Les Français proposent de lui donner tout



simplement le nom de Herschel… Celui-ci préfère lui donner le nom du roi George, qui l'a nommé astronome de la cour, lui permettant ainsi de ne plus faire de musique, sauf pour son plaisir… Mais finalement, on retient la proposition de l'astronome allemand Bode : continuer la liste mythologique. Après Jupiter et Saturne, voici donc Uranus (Ouranos était «le ciel» dans la vieille mythologie grecque).

On ne parle plus que d'Uranus, dans toute l'Europe… Par exemple, c'est en l'honneur de la nouvelle planète qu'un métal nouveau, découvert

Le système solaire en 1835 (à l'occasion du passage de la comète de Halley). Cette fois, Uranus s'appelle Uranus – mais Neptune n'est pas encore là. Les irrégularités d'Uranus nous autorisent pourtant à soupçonner l'existence d'une planète encore plus lointaine.

quelques années plus tard, reçoit le nom d'uranium...

Or, la nouvelle planète ne se conduit pas tout à fait comme il faut...

Uranus obéit presque aux lois de Newton... Et ce «presque» va être à l'origine de leur confirmation la plus éclatante!

Les irrégularités d'Uranus deviennent manifestes en 1821, à l'occasion d'une mise à jour des tables donnant les mouvements de toutes les planètes. A ce moment, depuis sa découverte, la planète de Herschel n'a pas encore parcouru la moitié de son orbite : il lui faut quatre-vingt-quatre ans pour faire le tour du Soleil. Mais on dispose, curieusement, d'observations plus anciennes, remontant à 1690! En effet, de nombreux astronomes ont pointé une «étoile» que – malheureusement pour eux – ils n'ont pas cherché à retrouver à la même place le lendemain. Le Monnier a ainsi douze fois observé Uranus, sans jamais se douter qu'il tenait au bout de sa lunette l'immortalité qu'il disputait si jalousement à Clairaut...

On dispose donc, en 1821, de positions notées sur trois orbites successives. Or, elles n'obéissent pas tout à fait aux lois de Newton, même si l'on tient compte, en plus de l'attraction du Soleil, de celle des autres planètes. Aussi, les tables publiées en 1821 renoncent à utiliser les données antérieures à la découverte par Herschel, et calculent l'orbite d'après les observations faites depuis 1781.

Hélas! En 1845, la planète est déjà à deux minutes d'arc de la position prévue par ces tables. Aucun doute n'est plus permis : les tables sont fausses. Ou bien les lois de Newton sont en défaut, ou bien Uranus subit, en plus de l'attraction du Soleil et de celles des autres corps du système déjà connus, l'attraction d'une autre planète, inconnue et plus lointaine encore. Est-il possible, à partir des perturbations constatées, d'appliquer les lois de Newton «à l'envers» pour détecter la planète «coupable»? Théoriquement, oui. Mais les calculs sont monstrueux, bien plus considérables encore que ceux de Clairaut pour la comète de Halley...

Urbain Le Verrier (1811-1877) publie son premier article d'astronomie à vingt ans, à peine entré à Polytechnique. C'est Arago qui lui suggère en 1845 de s'intéresser aux irrégularités d'Uranus. A la mort d'Arago, Le Verrier le remplace comme directeur de l'Observatoire.

En 1845, à l'insu l'un de l'autre, l'Anglais Adams et le Français Le Verrier s'attaquent au calcul effrayant qui doit – peut-être – rapporter une nouvelle planète

Les calculs durent à peu près un an... Ayant commencé plus tôt, Adams arrive plus tôt au but, et demande à quelques astronomes anglais de regarder si la planète inconnue est bien là où il calcule qu'elle devrait être.

Mais Adams est étudiant, il a à peine vingt-cinq ans : ses correspondants ont autre chose à faire, et remettent à plus tard les observations qu'il leur demande.

Au contraire, Le Verrier est déjà un astronome connu. Quand il envoie à Galle, à Berlin, le résultat de ses calculs, celui-ci pointe aussitôt sa lunette... et découvre effectivement, le soir même, une «étoile» qui ne figure pas sur la carte la plus moderne, publiée quelques jours plus tôt...

«Monsieur, la planète dont vous nous avez indiqué la position existe réellement»

Tel est le mot – sans équivalent dans l'histoire – reçu par Le Verrier à la fin de septembre 1846.

Cette planète, c'est Neptune. Et une fois publiée la découverte de Le Verrier, on s'aperçoit avec désespoir, en Angleterre, que le malheureux Adams avait indiqué à peu de chose près la même position quelques semaines plus tôt!

Pour nous, peu importe finalement que Le Verrier ait précédé Adams, ou qu'Adams ait précédé Le Verrier. Ce qui, par contre, importe beaucoup, c'est que les deux hommes aient trouvé, à très peu de chose près, la même position – et que la planète inconnue s'y soit trouvée! Pour Newton, ce n'est pas seulement un triomphe, mais deux triomphes : l'un dû à Adams et l'autre à Le Verrier!

Bien sûr, en 1845, plus personne ne doutait que les lois de Newton régissent bien la mécanique du système solaire. Mais tout de même, de là à inventer une planète... et à la trouver ensuite au bon endroit!

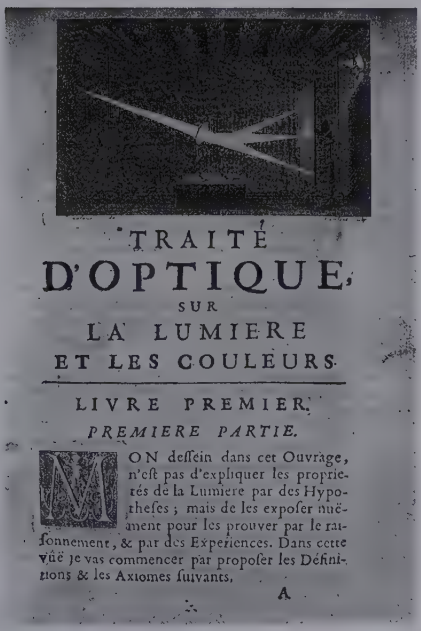
1666-1846 : cent quatre-vingts ans après «l'année merveilleuse», le pommier de Woolsthorpe donne sa

plus belle pomme... Ce n'est d'ailleurs pas la dernière. Un siècle plus tard, les hommes vont ajouter de nouveaux objets au système solaire. En 1986, la sonde «Giotto» va aller frôler à quelques kilomètres la comète de Halley, et en 1989 la sonde «Voyager», après avoir visité successivement Jupiter, Saturne et Uranus, va passer à quelques milliers de kilomètres de la planète de Le Verrier.

Bien sûr, les trajectoires de ces sondes sont calculées par des ordinateurs un milliard de fois plus rapides que ne l'était Hortense Lepaute... Mais les lois sur lesquelles reposent leurs calculs sont les mêmes : les lois de Newton.

Le cosmonaute «flottant» en orbite ou la sonde «Voyager» frôlant Saturne ne sont soumis qu'à l'attraction newtonienne. Celle de la Terre maintient le cosmonaute sur son orbite, et quant à la sonde, c'est l'attraction de Saturne qui va infléchir et accélérer son mouvement, pour l'envoyer vers Uranus...

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS



TRAITÉ
D'OPTIQUE,
SUR
LA LUMIERE
ET LES COULEURS.

LIVRE PREMIER.

PREMIERE PARTIE.

MON deſſein dans cet Ouvrage, n'eſt pas d'expliquer les proprietés de la Lumiere par des Hypotheſes ; mais de les expoſer nuëment pour les prouver par le raiſonnement, & par des Experiences. Dans cette vûë je vas commencer par propoſer les Définitions & les Axiomes ſuivants.

A

Les épaules de géants

A la fin de 1675, Newton envoie à la Royal Society une assez longue lettre, décrivant des expériences nouvelles sur la lumière, en particulier celle des « anneaux de Newton ». C'est alors que Hooke, apparemment conscient du fait que leurs relations ont été envenimées par Oldenburg, lui propose une correspondance privée.

Il semble que cette proposition n'ait pas eu de suite, à part la lettre de réponse de Newton, où celui-ci reconnaît volontiers sa dette à l'égard de Descartes et de Hooke lui-même : « Si j'ai vu plus loin, c'est en montant sur les épaules de géants ... »

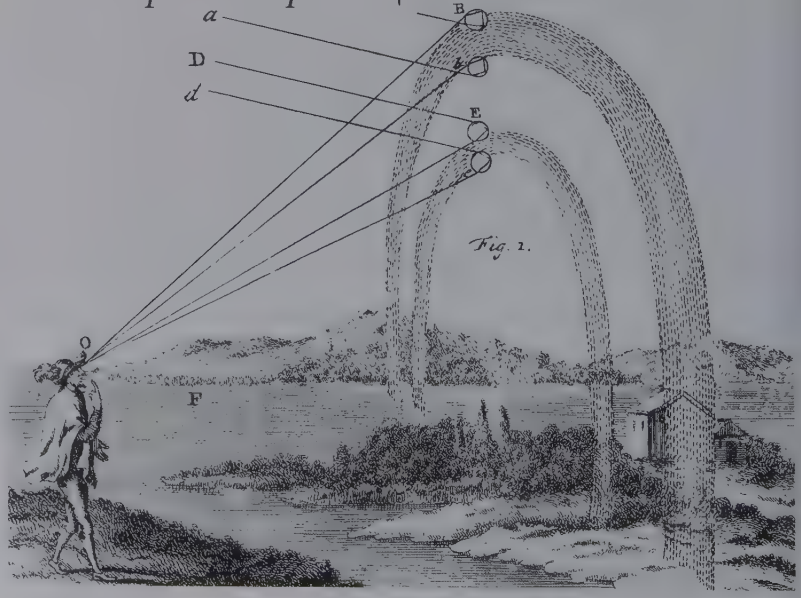
Une lettre de Hooke à Newton

A mon ami très estimé
M. Isaac Newton, chez lui,
Trinity College
Cambridge

le 20 janvier 1676

Monsieur,

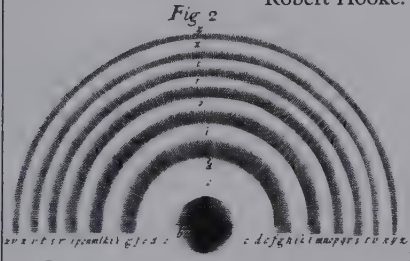
La lecture de votre lettre, la semaine dernière, à la réunion de la Royal Society, m'a fait penser que peut-être vous aviez été, d'une manière ou d'une autre, délibérément mal informé à mon sujet ; et ce d'autant plus que j'ai déjà



été victime de procédés détestables de ce genre. C'est pourquoi j'ai pris la liberté, admissible je pense en matière de philosophie, de vous parler de moi-même, et de vous dire que je n'approuve en aucune manière les disputes, les combats et les controverses publiques, et que c'est bien malgré moi que l'on m'entraînerait à ce genre de guerre. Ensuite, que mon esprit recherche avec avidité, et adopte très volontiers, toute vérité que l'on découvre, même si elle heurte et contredit des notions et des opinions que j'ai jusque-là tenues pour vraies. Enfin, que j'estime à leur juste valeur vos démonstrations, et que je suis extrêmement heureux de voir mettre en œuvre et améliorer des idées que j'ai abordées depuis longtemps, sans avoir le temps de mener leur étude jusqu'au bout. Qu'à mon avis, vous êtes allé beaucoup plus loin que moi dans cette affaire : de même que vous ne pouviez pas trouver un sujet plus digne de vos réflexions, de même à mon avis ce sujet ne peut pas trouver pour l'étudier une personne plus capable que vous, qui avez tout ce qu'il faut pour compléter, rectifier et modifier mes études de jeunesse, ce que j'aurais voulu faire moi-même, si mes autres charges plus pressantes me l'avaient permis, bien que c'eût été, j'en suis sûr, avec des capacités très inférieures aux vôtres.

Votre but est, je pense, le même que le mien, à savoir la Découverte de la vérité, et je suppose que nous pouvons tous les deux supporter d'entendre des objections, pourvu qu'elles ne manifestent pas une hostilité ouverte, et que nos esprits sont aussi prêts l'un que l'autre à s'incliner devant les déductions les plus nettes que le raisonnement puisse tirer de l'expérience. Si par conséquent il vous plaisait que nous ayons à ce sujet une correspondance privée, je serais très heureux de l'entreprendre ; et quand j'aurai eu le plaisir d'étudier à loisir votre excellent discours (qui, à l'entendre lire rapidement, ne m'a pas éclairé davantage) je prendrai la liberté de vous envoyer, si ce n'est pas me montrer ingrat, mes objections si j'en ai, ou mon assentiment si je suis convaincu, ce qui est le plus probable. Cette forme de discussion me semble plus philosophique que l'autre, car si le choc de deux adversaires solides peut produire de la lumière, s'ils sont actionnés par d'autres il produit aussi de la chaleur, qui ne sert ... qu'à mettre le feu aux poudres. J'espère, Monsieur, que vous pardonnerez la franchise de votre très humble et très affectionné serviteur,

Robert Hooke.



L'*Optique* de Newton, figure.

Et la réponse de Newton

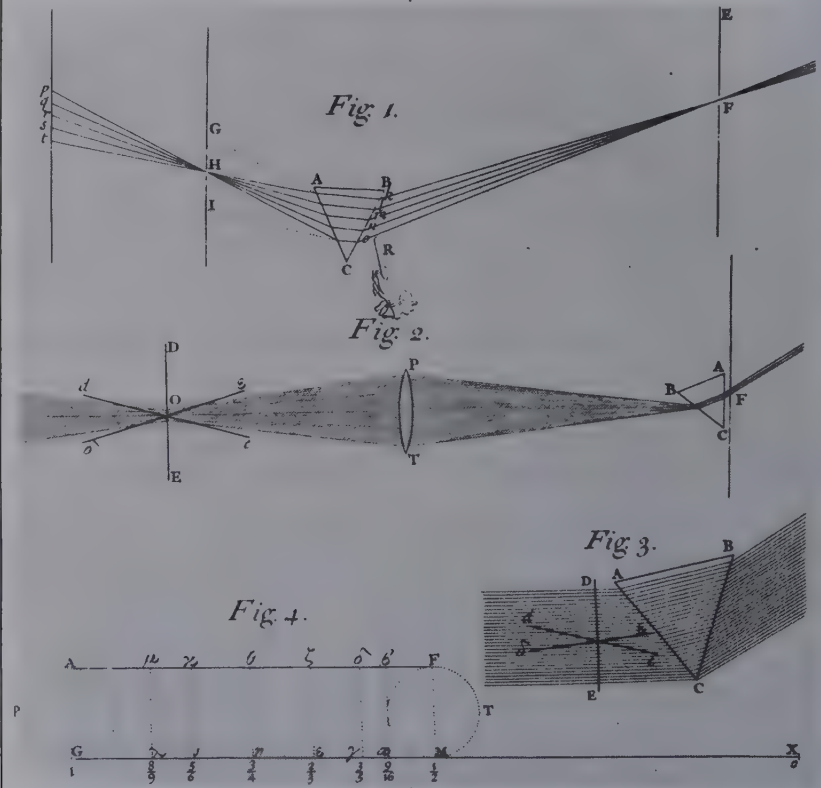
Cambridge, le 5 février 1676

Monsieur,

En lisant votre lettre, j'ai été enchanté de votre attitude libre et généreuse, et je pense que vous avez agi comme il convient à un véritable esprit philosophique. Il n'est rien que je redoute davantage, en matière de

philosophie, que la controverse, surtout par voie de presse : c'est pourquoi j'accepte avec joie votre proposition d'une correspondance privée. Ce qui se fait devant une assistance nombreuse est rarement inspiré par le seul souci de la vérité, tandis que les relations privées entre amis relèvent plus de la discussion

ne retrouverai sans doute jamais — assez d'intérêt pour avoir plaisir à y consacrer du temps ; cependant, avoir tout de suite en bref les objections les plus fortes et les plus pertinentes possibles, cela, oui, je le désire, et je ne connais personne qui soit plus qualifié que vous pour me les présenter. En le faisant,



que de la controverse, et j'espère qu'il en sera ainsi entre vous et moi. Vos remarques sont donc tout à fait bienvenues : car bien que j'aie été, jusqu'ici, fatigué de ce sujet, et que je n'aie pas encore retrouvé pour lui — ni

vous m'obligerez. Et s'il y a quoi que ce soit d'autre dans mes écrits que vous trouviez présomptueux, ou injuste à votre égard, pourvu qu'il vous plaise de réserver ces sentiments pour une lettre personnelle, j'espère que vous

constaterez aussi que je ne suis pas amoureux des productions philosophiques au point de ne pouvoir les faire s'effacer devant la justice et l'amitié.

En attendant, vous avez une trop haute idée de mes capacités. Le travail de Descartes constitue un grand pas en avant. Vous-même y avez ajouté beaucoup, et de plusieurs manières, en particulier en étudiant de façon philosophique les couleurs des lames minces. Si j'ai vu plus loin, c'est en montant sur les épaules de géants. Mais je ne doute pas que vous disposiez de plusieurs expériences très importantes en plus de celles que vous avez publiées, certaines probablement semblables à quelques-unes de celles qui figurent dans mon dernier papier. Il y en a au moins deux dont je sais que vous les avez faites, l'observation de la dilatation des anneaux colorés quand on les regarde obliquement, et celle de l'apparition d'un point noir au contact de deux verres convexes ainsi qu'au sommet d'une bulle. Et il y en a probablement davantage, plus d'autres encore que je n'ai pas faites. J'ai donc au moins autant de raisons de m'incliner devant vous que vous devant moi, surtout si l'on tient compte des distractions que vous imposent les affaires.

Mais assez là-dessus : votre lettre me donne l'occasion de vous demander ce qu'il en est de l'observation, que vous me proposiez de faire ici, du passage d'une étoile près du zénith. Je suis revenu de Londres quelques jours plus tôt que je vous l'avais dit, car il s'est trouvé que je devais rencontrer un ami à Newmarket, et j'ai ainsi manqué vos informations. Je suis passé chez vous un jour ou deux avant mon départ, mais vous n'y étiez pas. Si donc vous désirez encore que l'on fasse cette observation, vous n'avez qu'à envoyer vos instructions à votre humble serviteur

Isaac Newton.

Fig. 24.

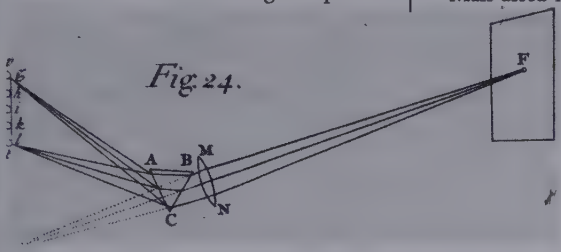
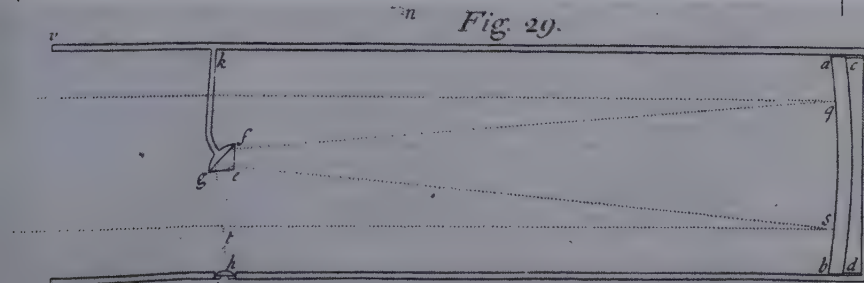


Fig. 28.

La réfraction de la lumière, figures de *L'Optique.*

Fig. 29.



La Laponie au jour le jour

L'abbé Outhier n'était pas seulement le cartographe et le dessinateur de l'expédition de Maupertuis : son « Journal d'un voyage au Nord en 1736 et 1737 », publié dès son retour, nous donne une foule de détails sur la vie quotidienne de l'équipe et sur ses travaux. Ces deux extraits montrent bien le soin artisanal apporté aux vérifications effectuées au printemps de 1737 pour évaluer la précision des résultats obtenus.

Journal d'un voyage au Nord, en 1736 et 1737

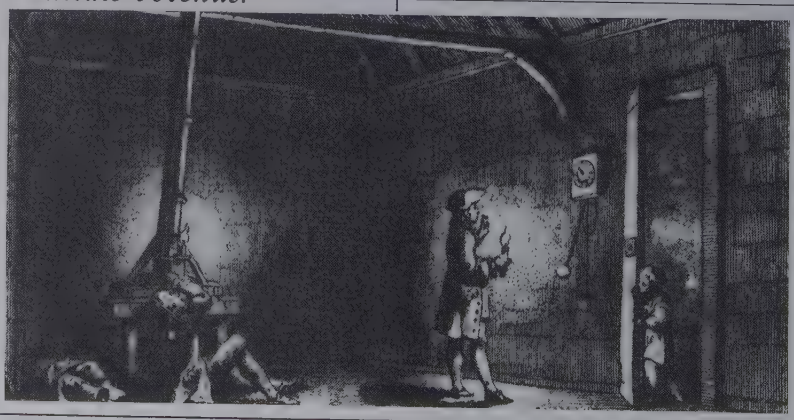
Par M. Outhier, prêtre du diocèse de Besançon, correspondant de l'Académie Royale des Sciences.

« ... M. de Maupertuis, d'abord après son retour de Pello, a repris les observations sur l'allongement ou raccourcissement des toises de bois, par le chaud ou par le froid.

Pendant la semaine de Pâques, nous avons observé la déclinaison de l'aiguille aimantée, que nous avons trouvée de 5 degrés, et environ 5 minutes. Nous l'avions trouvée à peu près la même sur la mer Baltique, avant que d'arriver à Stockholm. »

La direction du méridien vérifiée, 24 mai

« ... Le soleil s'est couché entièrement à 10 heures 10 mn. Nous nous étions rendus à l'endroit le plus élevé de l'île Swentzar ; nous y avons observé avec un quart de cercle l'angle entre le soleil



Mesure astronomique de l'arc du méridien.

Cabane de Lapons au milieu des sapins.

et l'horizon, et le signal de Kakama, faisant en même temps compter les secondes, à une pendule que nous avions placée assez près de là, dans une de ces maisons qui ne servent qu'à loger les fourrages et le bétail, et qui était vide. La nuit fut très belle ; le lendemain matin, on retourna prendre le même angle, entre le soleil levant à l'horizon, et le même signal. La direction de notre suite de triangles à l'égard du méridien, qui résulta de ces observations, se trouva différente de quelques minutes, de la direction qu'on avait trouvée à Pello. Nous en fûmes d'abord surpris ; mais nous en fîmes bientôt réflexion, que Kittis et Tornea n'étant pas sous le même méridien, nous devions trouver quelques différences, à cause que les deux méridiens concourent sensiblement vers le pôle dans le pays où nous étions. M. Clairaux eut bientôt fait le calcul de la différence que devait donner le concours des deux méridiens, et on trouva qu'en y ayant égard, les directions des triangles prises à Kittis et à Tornea s'accordaient à une demi-minute de degrés près. »

Longueur du degré du méridien au cercle polaire

Pour avoir plus exactement cette amplitude de l'arc du méridien, il faut faire trois corrections ; la première à cause du mouvement propre, du moins apparent des étoiles fixes ; la seconde à cause de l'aberration de ces mêmes étoiles, causée par le mouvement successif de la lumière ; et la troisième parce que l'arc gradué du limbe sur 5° 1/2 était trop court de 3" 3/4. Quoique Monsieur Graham eût reconnu la quantité dont ce limbe était trop court, et en eût donné avis à Monsieur de Maupertuis ; nous ne laissâmes pas de de nous en assurer par une vérification singulière, que nous fîmes du secteur, les troisième, quatrième, cinquième et sixième jours du mois de mai.

Monsieur Camus avait placé horizontalement le secteur dans une chambre de la maison où il était logé. Nous observâmes l'angle horizontal entre deux mines, attachés à deux gros poteaux plantés dans la glace. Ces mines éloignées l'une de l'autre de 36 toises 3 pieds, 6 pouces, 6 2/3 lignes, formaient une tangente dont le rayon était une base mesurée par deux fois, et trouvée de 380 toises 1 pied 3 pouces 0 ligne. Nous fîmes chacun en particulier l'observation de cet angle ; et il n'y eut pas deux secondes de différence entre les observations les plus éloignées. Car prenant un milieu, cet angle entre les deux mines fut 5° 30' 7" 3/10.

Pour faire cette observation qui servait à vérifier tout l'arc du limbe, Monsieur Camus avait tendu un fil qui rasait le limbe et qui marquait les divisions. Il en tendit ensuite un second, et au moyen de ces deux fils, on vérifia par des observations les divisions de degré en degré.

Richer à Cayenne

Richer installe à Cayenne, en 1672, le premier observatoire tropical des temps modernes : outre sa mesure de la parallaxe de Mars — c'est-à-dire des dimensions du système solaire — il y réalise une foule d'observations difficiles à effectuer sous des latitudes plus élevées, en particulier sur le Soleil et sur Mercure.
Cet extrait de ses observations révèle non seulement le degré de précision déjà atteint par les mesures astronomiques, mais aussi le souci permanent de Richer quant à l'accord entre l'horloge et les astres — souci qui devait le conduire à la découverte, riche d'avenir, des irrégularités du pendule.

Observations astronomiques et physiques faites en l'île de Cayenne par M. Richer

Article V
Des crépuscules.

La durée des crépuscules en Cayenne est telle, que je lisais facilement pendant 45 minutes avant le lever du soleil, et autant après son coucher : ce qui fait voir que les réfractions de la lumière du soleil sont à peu près en ce lieu les mêmes qu'en France ; et il est d'autant plus vrai, que pour y voir un objet distinctement avec des lunettes de longue vue, il faut qu'elles y soient précisément de la même longueur qu'à Paris.

« Ce n'a pas été un de mes moindres soins étant en l'île de Cayenne, d'observer Mercure, dont les mouvements ne sont pas tout à fait bien connus, ne pouvant être vus que rarement, et fort près de l'horizon en Europe. J'ai observé seulement trois fois cette planète, les nuages et les vapeurs et en d'autres temps les pluies, ne m'ayant pas permis, à mon regret, de le pouvoir faire davantage.

J'accompagnerai ces observations de toutes les circonstances qu'il m'a été possible de marquer en les faisant, afin qu'on puisse mieux déterminer le lieu de cette planète dans le temps qu'elles ont été faites.

L'octans étant placé dans le méridien de la manière que nous dirons au chapitre IX dans les observations du 11 septembre 1672 savoir, qu'il était dans un vertical, éloigné du vrai méridien de 39" de temps, à la hauteur de 53° 44' 45".

Le bord occidental du soleil passa le 12 septembre 1672 dans le vertical, fort proche du méridien, comme nous

venons de dire, l'horloge marquant 11 h 58' 28" et le bord oriental à 12 h 0' 36", partant le centre passa dans ce vertical, l'horloge marquant 11 h 59' 32" et la hauteur méridienne de son bord supérieur et boréal était ce même jour, étant observé avec l'octans, de 89° 28' 15".

Le 12 au soir, Mercure paraissant du côté d'Occident, j'observai dans la commune section des deux filets de la pinule du quart de cercle qui se coupent à angles droits, desquels l'un est vertical, et l'autre horizontal, la hauteur de cette planète sur l'horizon, laquelle de 15° 56' 30" l'horloge marquant 6 h 23' 15".

Le quart de cercle étant demeuré dans ce vertical sans être remué, l'Epy de la Vierge y passa ensuite dans la même commune section des deux filets susdits, auquel temps cette fixe était haute sur l'horizon de 7° 20' 0".

Afin que l'on puisse reconnaître quel rapport les révolutions journalières de l'horloge avaient avec celles du soleil et des fixes j'ai fait les observations suivantes.

Le 12 septembre 1672 au soir, une fixe marquée par Baïérus E, et dans la main droite d'Aquarius, passa au Méridien, l'horloge marquant 9 h 2' 40". Le lendemain 13 au soir la même fixe passa au méridien, l'horloge marquant 8 h 58' 37".

Le 14 de ce mois, l'octans étant posé de la même manière que dans la première observation ci-dessus, le bord occidental du soleil toucha le vertical dans lequel était l'octans fort près du méridien, l'horloge marquant 11 h 57' 18" et le bord oriental à 11 h 59' 26", partant le centre du soleil passa au méridien, l'horloge marquant 11 h 58' 22" et la hauteur méridienne de son bord supérieur et boréal était de 72° 41' 10" observée avec l'octans.

Le 14 au soir, l'Epy de la Vierge passa dans le vertical où était le quart de cercle, justement dans l'intersection des filets vertical et horizontal de la pinule, et la hauteur sur l'horizon était de 10° 32' 0", l'horloge marquant dans cet instant 6 h 46' 33". Mercure passa ensuite dans ce même vertical, par le même endroit que l'Epy de la Vierge, étant haut sur l'horizon de 9° 37' 10" et l'horloge marquant 6 h 47' 35".
Le passage des bords du soleil par le filet vertical de la pinule de l'octans, laquelle était fort proche du méridien, comme nous avons dit ci-dessus, fera connaître l'heure à laquelle cette observation a été faite, et quelle correction il y aura à faire au mouvement de l'horloge.

Le portrait de Newton par Fontenelle

Elu associé étranger de l'Académie des sciences en 1699, Newton a droit, en 1727, à l'éloge funèbre officiel prononcé par le secrétaire de cette Académie, Bernard le Bovier de Fontenelle. Après avoir évoqué brièvement les années de formation de Newton, Fontenelle expose assez longuement ses travaux, en insistant peut-être davantage sur l'optique que sur la gravitation... Il termine son éloge par un portrait de Newton, au physique et au moral, qui est un modèle du genre : bien malin qui pourrait dire si l'ironie qui s'en dégage est volontaire ou non !

Monument à la mémoire de Newton, dans l'abbaye de Westminster.

... Il avait la taille médiocre, avec un peu d'embonpoint dans ses dernières années, l'œil fort vif et fort perçant ; la physionomie agréable et vénérable en même temps, principalement quand il ôtait sa perruque, et laissait voir une chevelure toute blanche, épaisse et bien fournie. Il ne se servit jamais de lunettes, et ne perdit qu'une seule dent pendant toute sa vie. Son nom doit justifier ces petits détails.

Il était né fort doux, et avec un grand amour pour la tranquillité. Il aurait mieux aimé être inconnu, que de voir le calme de sa vie troublé par les orages littéraires que l'esprit et la science attirent à ceux qui s'élèvent trop. On voit par une de ses lettres du *Commercium epistolicum*, que son traité d'optique étant prêt à imprimer, des objections prématurées qui s'élevèrent lui firent abandonner alors ce dessein.

« Je me reprocherais, dit-il, mon imprudence de perdre une chose aussi réelle que le repos, pour courir après une ombre. » Mais cette ombre ne lui a

pas échappé dans la suite ; il ne lui en a pas coûté son repos qu'il estimait tant, et elle a eu pour lui autant de réalité que ce repos même.

Un caractère doux promet naturellement de la modestie, et on atteste que la sienne s'est toujours conservée sans altération, quoique tout le monde fût conjuré contre elle. Il ne parlait jamais ou de lui ou des autres ; il n'agissait jamais d'une manière à faire soupçonner aux observateurs les plus malins le moindre sentiment de vanité. Il est vrai qu'on lui épargnait assez le soin de se faire valoir ; mais combien d'autres n'auraient pas laissé de prendre encore un soin dont on se charge si volontiers, et dont il est si difficile de se reposer sur personne ! Combien de grands hommes généralement applaudis ont gâté le concert de leurs louanges en y mêlant leurs voix !

Il était simple, affable, toujours de niveau avec tout le monde. Les génies du premier ordre ne méprisent point ce qui est au-dessous d'eux, tandis que les autres méprisent même ce qui est au-dessus. Il ne se croyait dispensé, ni par son mérite, ni par sa réputation, d'aucun des devoirs du commerce ordinaire de la vie ; nulle singularité, ni naturelle, ni affectée : il savait n'être, dès qu'il le fallait, qu'un homme du commun.

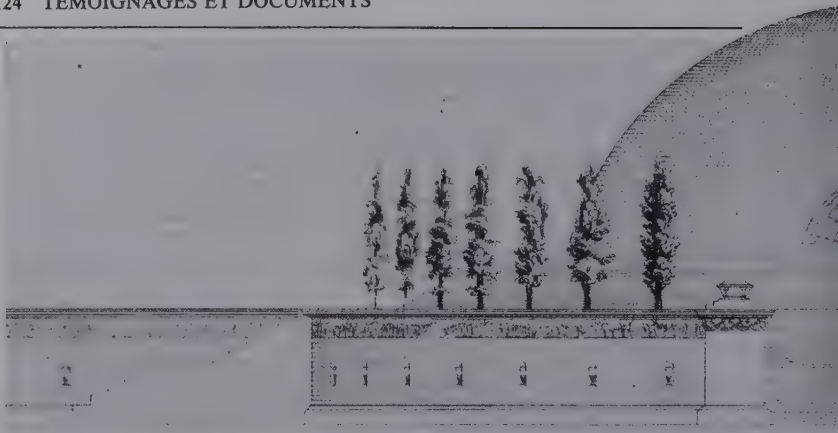
Quoiqu'il fût attaché à l'Eglise anglicane, il n'eût pas persécuté les non-conformistes pour les y ramener. Il jugeait les hommes par les mœurs, et les vrais non-conformistes étaient pour lui les vicieux et les méchants. Ce n'est pas cependant qu'il s'en tînt à la religion naturelle : il était persuadé de la révélation ; et, parmi les livres de toute espèce qu'il avait sans cesse entre les mains, celui qu'il lisait le plus assidûment était la Bible.

L'abondance où il se trouvait et par un grand patrimoine et par son emploi, augmentée encore par la sage simplicité de sa vie, ne lui offrait pas inutilement les moyens de faire du bien. Il ne croyait pas que donner par son testament, ce fût donner : aussi n'a-t-il point laissé de testament, et il s'est dépouillé toutes les fois qu'il a fait des libéralités ou à ses parents, ou à ceux qu'il savait dans quelque besoin. Les bonnes actions qu'il a faites dans l'une ou l'autre espèce n'ont été ni rares, ni peu considérables. Quand la bienséance exigeait de lui en certaines occasions de la dépense et de l'appareil, il était magnifique sans aucun regret et de très bonne grâce. Hors de là, tout ce faste qui ne paraît quelque chose de grand qu'aux petits caractères, était sévèrement retranché, et les fonds réservés à des usages plus solides. Ce serait effectivement un prodige qu'un esprit accoutumé aux réflexions, nourri de raisonnements, et en même temps amoureux de cette vaine magnificence.

Il ne s'est point marié, et peut-être n'a-t-il pas eu le loisir d'y penser jamais ; abîmé d'abord dans des études profondes et continuelles pendant la force de l'âge, occupé ensuite d'une charge importante, et même de sa grande considération, qui ne lui laissait ni vide dans sa vie, ni besoin d'une société domestique.

Il a laissé en biens meubles environ 32 000 livres sterling, c'est-à-dire sept cent mille livres de notre monnaie. Leibniz, son concurrent, mourut riche aussi, quoique beaucoup moins, et avec une somme de réserve assez considérable. Ces exemples rares, et tous deux étrangers, semblent mériter qu'on ne les oublie pas.

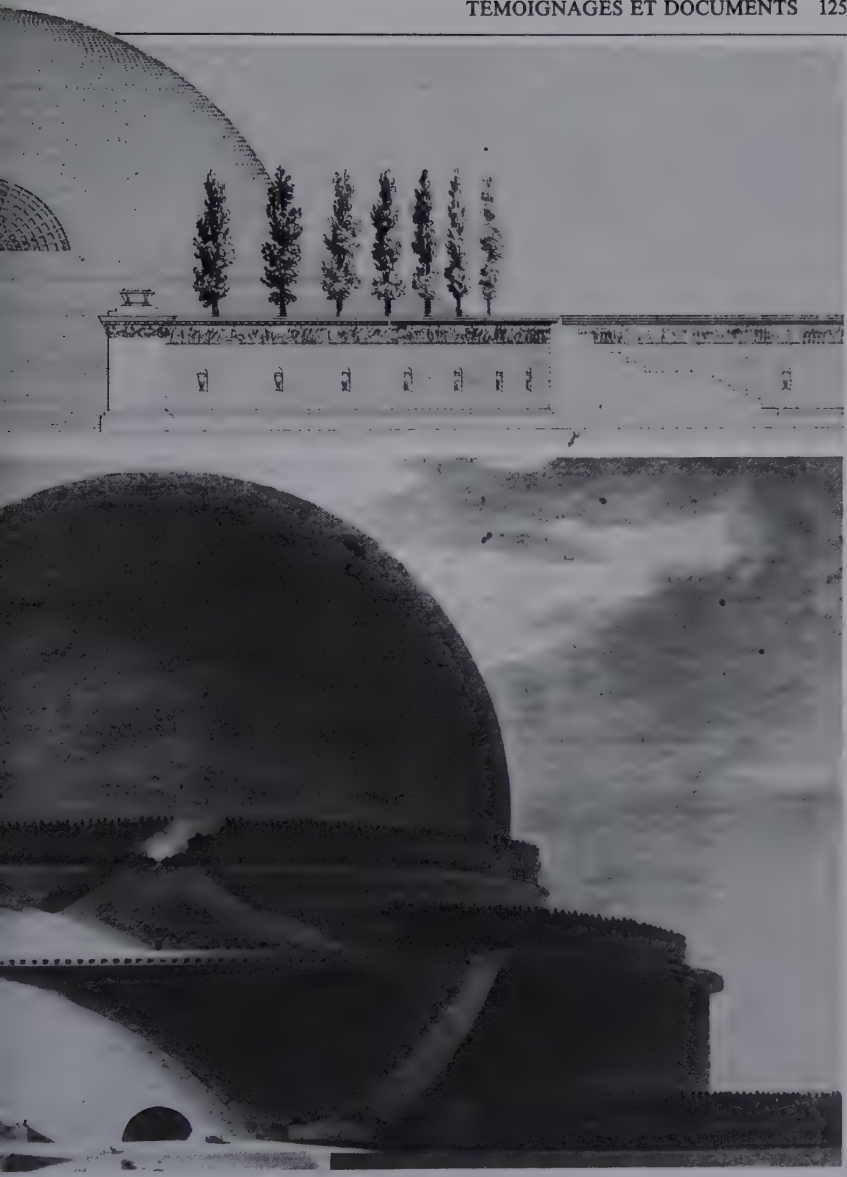
Fontenelle



TOMBEAU A ERIGER A NEWTON

1er PRIX OBTENU EN L'AN MDCCLXXXV A L'ACADÉMIE ROYALE D'ARCHITECTURE

PAR PIERRE JULES DELESPINE



Ces projets utopistes de cénotaphes pour Newton, exécutés au XIXe siècle par les architectes J. Delespine (en haut) et V.L. Boullée (en bas), ne furent jamais réalisés.

Descartes et Newton vus par Voltaire en 1728

Voltaire consacre la quatorzième de ses « Lettres anglaises » à comparer la vie et la gloire de Descartes à celles de Newton : on peut difficilement imaginer deux destins plus dissemblables... Mais l'admiration de Voltaire pour l'Angleterre, qui lui a donné asile, et pour son héros national Isaac Newton ne l'empêche pas de rendre à Descartes son dû : les « épaules de géants », sur lesquelles Newton est monté pour voir plus loin, ce sont avant tout les épaules de Descartes.

Quatorzième lettre sur Descartes et Newton

Un Français qui arrive à Londres trouve les choses bien changées en Philosophie comme dans tout le reste. Il a laissé le monde plein ; il le trouve vide. A Paris, on voit l'univers composé de tourbillons de matière subtile ; à Londres, on ne voit rien de cela. Chez nous, c'est la pression de la Lune qui cause le flux de la mer ; chez les Anglais, c'est la mer qui gravite vers la lune, de façon que, quand vous croyez que la lune devrait nous donner marée haute, ces Messieurs croient qu'on doit avoir marée basse ; ce qui malheureusement ne peut se vérifier, car il aurait fallu, pour s'en éclaircir, examiner la lune et les marées au premier instant de la création.

Vous remarquerez encore que le soleil, qui en France n'entre pour rien dans cette affaire, y contribue ici environ pour son quart. Chez vos Cartésiens, tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend guère ; chez M. Newton, c'est par une attraction dont on ne connaît pas mieux la cause. A Paris, vous vous figurez la terre faite comme un melon ; à Londres, elle est aplatie des deux côtés. La lumière, pour un Cartésien, existe dans l'air ; pour un Newtonien, elle vient du soleil en six minutes et demie. Votre Chimie fait toutes ses opérations avec des Acides, des Alcalis et de la matière subtile ; l'Attraction domine jusque dans la Chimie Anglaise.

L'essence même des choses a totalement changé. Vous ne vous accordez ni sur la définition de l'âme ni sur celle de la matière. Descartes assure que l'âme est la même chose que la pensée, et Locke lui prouve assez bien le contraire.

Descartes assure encore que l'étendue seule fait la matière ; Newton y ajoute la solidité. Voilà de furieuses contrariétés.

Non nostrum inter vos tantas componere lites.

Ce fameux Newton, ce destructeur du système Cartésien, mourut au mois de Mars de l'an passé 1727. Il a vécu honoré de ses compatriotes, et a été enterré comme un Roi qui aurait fait du bien à ses Sujets.

On a lu ici avec avidité et l'on a traduit en Anglais l'Eloge que M. de Fontenelle a prononcé de M. Newton dans l'Académie des Sciences. On attendait en Angleterre le jugement de M. de Fontenelle comme une déclaration solennelle de la supériorité de la Philosophie anglaise ; mais, quand on a vu qu'il comparait Descartes à Newton, toute la Société royale de Londres s'est soulevée. Loin d'acquiescer au jugement, on a critiqué ce discours. Plusieurs même (et ceux-là ne sont pas les plus Philosophes) ont été choqués de cette comparaison seulement parce que Descartes était Français.

Il faut avouer que ces deux grands hommes ont été bien différents l'un de l'autre dans leur conduite, dans leur fortune et dans leur Philosophie.

Descartes était né avec une imagination vive et forte, qui en fit un homme singulier dans sa vie privée comme dans sa manière de raisonner. Cette imagination ne put se cacher même dans ses ouvrages philosophiques, où l'on voit à tout moment des comparaisons ingénieuses et brillantes. La nature en avait presque fait un Poète, et en effet il composa pour la Reine de Suède un divertissement en vers que pour l'honneur de sa mémoire on n'a pas fait imprimer.

Il essaya quelque temps du métier de la guerre, et depuis étant devenu tout à fait Philosophe, il ne crut pas indigne de lui de faire l'amour. Il eut de sa maîtresse une fille nommée Francine, qui mourut jeune et dont il regretta beaucoup la perte. Ainsi il éprouva tout ce qui appartient à l'humanité.

Il crut longtemps qu'il était nécessaire de fuir les hommes, et surtout sa Patrie, pour philosopher en liberté. Il avait raison ; les hommes de son temps n'en savaient pas assez pour l'éclaircir, et n'étaient guère capables que de lui nuire.

Il quitta la France parce qu'il cherchait la vérité, qui y était persécutée alors par la misérable Philosophie de l'Ecole ; mais il ne trouva pas plus de raison dans les Universités de la Hollande, où il se retira. Car dans le temps qu'on condamnait en France les seules propositions de sa Philosophie qui fussent vraies, il fut aussi persécuté par les prétendus Philosophes de Hollande, qui ne l'entendaient pas mieux, et qui, voyant de plus près sa gloire, haïssaient davantage sa personne. Il fut obligé de sortir d'Utrecht ; il essuya l'accusation d'Athéisme, dernière ressource des calomniateurs ; et lui qui avait employé toute la sagacité de son esprit à chercher de nouvelles preuves de l'existence d'un Dieu fut soupçonné de n'en point reconnaître.

Tant de persécutions supposaient un très grand mérite et une réputation éclatante : aussi avait-il l'un et l'autre. La raison perça même un peu dans le monde à travers les ténèbres de l'Ecole et les préjugés de la superstition populaire. Son nom fit enfin tant de bruit qu'on voulut l'attirer en France par des récompenses. On lui proposa

une pension de mille écus ; il vint sur cette espérance, paya les frais de la patente, qui se vendait alors, n'eut point la pension, et s'en retourna philosopher dans sa solitude de Nord-Hollande, dans le temps que le grand Galilée, à l'âge de quatre-vingts ans, gémissait dans les prisons de l'Inquisition, pour avoir démontré le mouvement de la terre. Enfin il mourut à Stockholm d'une mort prématurée et causée par un mauvais régime, au milieu de quelques Savants, ses ennemis, et entre les mains d'un Médecin qui le haïssait.

La carrière du Chevalier Newton a été toute différente. Il a vécu quatre-vingt-cinq ans, toujours tranquille, heureux et honoré dans sa Patrie.

Son grand bonheur a été non seulement d'être né dans un pays libre, mais dans un temps où les impertinences scolastiques étant bannies, la raison seule était cultivée ; et le monde ne pouvait être que son écolier, et non son ennemi.

Une opposition singulière dans laquelle il se trouve avec Descartes, c'est que, dans le cours d'une si longue vie, il n'a eu ni passion ni faiblesse ; il n'a jamais approché d'aucune femme : c'est ce qui m'a été confirmé par le Médecin et le Chirurgien entre les bras de qui il est mort. On peut admirer en cela Newton, mais il ne faut pas blâmer Descartes.

L'opinion publique en Angleterre sur ces deux Philosophes est que le premier était un rêveur, et que l'autre était un sage.

Très peu de personnes à Londres lisent Descartes, dont effectivement les ouvrages sont devenus inutiles ; très peu lisent aussi Newton, parce qu'il faut être fort savant pour le comprendre ; cependant, tout le monde parle d'eux ; on n'accorde rien au Français et on donne tout à l'Anglais. Quelques gens croient que, si on ne s'en tient plus à l'horreur du Vide, si on sait que l'air est pesant, si on se sert de lunettes d'approche, on en a l'obligation à Newton. Il est ici l'Hercule de la fable, à qui les ignorants attribuaient tous les faits des autres Héros.

Dans une critique qu'on a faite à Londres du discours de M. de Fontenelle, on a osé avancer que Descartes n'était pas un grand Géomètre. Ceux qui parlent ainsi peuvent se reprocher de battre leur nourrice ; Descartes a fait un aussi grand chemin, du point où il a trouvé la Géométrie jusqu'au point où il l'a poussée, que Newton en a fait après lui : il est le premier qui ait trouvé la manière de donner les Equations algébriques des Courbes. Sa Géométrie, grâce à lui devenue aujourd'hui commune, était de son temps si profonde qu'aucun Professeur n'osa entreprendre de l'expliquer, et qu'il n'y avait en Hollande que Schooten et en France que Fermat qui l'entendissent.

Il porta cet esprit de géométrie et d'invention dans la Dioptrique, qui devint entre ses mains un art tout nouveau ; et s'il s'y trompa en quelque chose, c'est qu'un homme qui découvre de nouvelles terres ne peut tout d'un coup en connaître les propriétés : ceux qui viennent après lui et qui rendent ces terres fertiles lui ont au moins l'obligation de la découverte. Je ne nierai pas que tous les autres ouvrages de M. Descartes fourmillent d'erreurs.

La Géométrie était un guide que lui-même avait en quelque façon formé, et qui l'aurait conduit sûrement dans sa Physique ; cependant il abandonna à la fin ce guide et se livra à l'esprit de système. Alors sa Philosophie ne fut

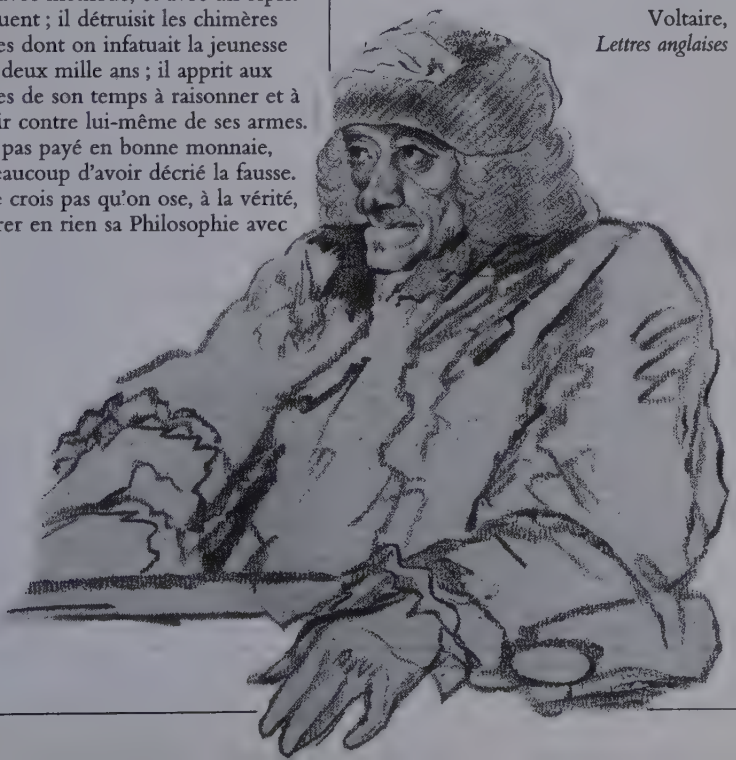
plus qu'un roman ingénieux, et tout au plus vraisemblable pour les ignorants. Il se trompa sur la nature de l'âme, sur les preuves de l'existence de Dieu, sur la matière, sur les lois du mouvement, sur la nature de la lumière ; il admit des idées innées, il inventa de nouveaux éléments, il créa un monde, il fit l'homme à sa mode, et on dit avec raison que l'homme de Descartes n'est en effet que celui de Descartes, fort éloigné de l'homme véritable.

Il poussa ses erreurs métaphysiques jusqu'à prétendre que deux et deux ne font quatre que parce que Dieu l'a voulu ainsi. Mais ce n'est point trop dire qu'il était estimable même dans ses égarements. Il se trompa, mais ce fut au moins avec méthode, et avec un esprit conséquent ; il détruisit les chimères absurdes dont on infatuait la jeunesse depuis deux mille ans ; il apprit aux hommes de son temps à raisonner et à se servir contre lui-même de ses armes. S'il n'a pas payé en bonne monnaie, c'est beaucoup d'avoir décrié la fausse.

Je ne crois pas qu'on ose, à la vérité, comparer en rien sa Philosophie avec celle de Newton : la première est un essai, la seconde est un chef-d'œuvre. Mais celui qui nous a mis sur la voie de la vérité vaut peut-être celui qui a été depuis au bout de cette carrière.

Descartes donna la vue aux aveugles ; ils virent les fautes de l'Antiquité et les siennes. La route qu'il ouvrit est, depuis lui, devenue immense. Le petit livre de Rohaut a fait pendant quelque temps une physique complète ; aujourd'hui, tous les recueils des Académies de l'Europe ne font pas même un commencement de système : en approfondissant cet abîme, il s'est trouvé infini. Il s'agit maintenant de voir ce que M. Newton a creusé dans ce précipice.

Voltaire,
Lettres anglaises



Une visite chez Herschel

Naturaliste, géologue et promoteur actif des montgolfières et des ballons, Faujas de Saint-Fond rend visite à Herschel, en 1784, trois ans après que celui-ci ait découvert Uranus — qui à ce moment s'appelle encore « Herschel ». Son journal nous montre sur le vif le grand astronome et son excellente sœur, et nous donne au passage les impressions d'un touriste français à Londres cinq ans avant la Révolution française...

Visite de l'observatoire de Greenwich

« Vendredi 13 aoust (1784), j'ai été occupé presque toute la matinée à écrire, ou à mettre en ordre des objets d'histoire naturelle qui m'ont été donnés. A une heure, je suis entré en voiture avec M. le Comte Andréani et M. Thornton pour nous rendre à l'Observatoire Royal, qui est à 8 milles de distance de notre habitation, étant sis à Howard street, par carosse et cela a coûté 19 livres pour le voyage.

Nous avons trouvé une grande partie des membres de la Société Royale à cet Observatoire où ils étaient en visite par commission royale, car l'astronomie est dans la plus grande vénération à Londres, relativement surtout à la navigation.

Cet Observatoire est dans la plus belle position, étant sur une colline assez élevée qui domine sur la plus belle partie de la Tamise et de Londres.

Cette multitude de vaisseaux dont la rivière est presqu'entièrement couverte, les mâts qui se confondent avec les clochers, trois grands ponts sur la Tamise, la vue de l'église Saint-Paul, et une quantité de clochers, d'édifices de toute espèce, forment un spectacle aussi ravissant qu'extraordinaire.

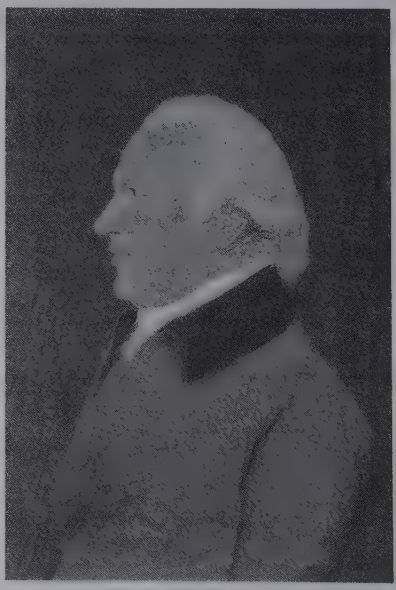
Les Bâtiments de l'Observatoire sont simples, sans faste, sans architecture, et construits en brique, mais la partie des instruments ne laisse rien à désirer, pour la grandeur, la précision, la variété. Tous ces instruments sont du plus grand genre.

M. Maskline a eu la complaisance de nous tout faire voir, de nous tout expliquer avec le plus grand soin. M. Aubert et M. Sancks nous ont fait faire connaissance avec M. Herschel si célèbre par ses télescopes, et ses découvertes en astronomie, et qui était des commissaires pour la visite de l'Observatoire. J'ai été on ne peut pas plus satisfait de M. Herschel, qui est aussi aimable que savant, et qui a bien voulu me permettre de me recevoir à son observatoire où nous passerions la nuit du dimanche au lundi à observer le Ciel.

Nous sommes allés dîner à 4 heures chez un fameux traîteur du voisinage de l'Observatoire où nous avons eu un très grand dîner à l'anglaise. J'étais à table à côté de M. Cavendish et Blagden, le repas a été fort gai, et l'on est resté jusqu'à sept heures à table, après cela l'on a passé dans une salle où le thé et le café nous attendoient, le café était détestable... M. Maskline a dit le Bénédicité avant le dîner et à nouveau avant de sortir de table. Ces deux prières n'ont pas duré une minute. L'on m'a dit que c'était l'usage dans des repas publics.

Samedi 14 aoust, allé voir un ballon à air dilaté, construit sous la direction de M. Schelden habile anatomiste et la

major Gardinner. Cette montgolfière est en toile, avec un vernis semblable à peu près à celui des toiles cirées, que j'ai désapprouvé d'abord sur les échantillons qui m'ont été montrés, mais que j'ai moins condamné lorsque j'ai vu le ballon qui a 56 pieds de diamètre et qui est de forme sphérique ; il a été très bien rempli dans les essais, mais sur les réflexions que j'ai faites, l'on s'est déterminé à l'agrandir, et on doit lui donner jusqu'à 80 pieds et l'expérience est fixée à vendredi...



M. William Herschel chez lui

L'observatoire de M. Herschel est dans une maison de campagne à 20 milles de Londres, j'y suis arrivé avec le Comte Andréani et M. Thornton à dix heures du soir.

Nous avons trouvé M. Herschel occupé à observer dans son jardin et Mlle sa sœur dans un salon devant l'atlas de Flamsteed, un pendule à côté d'elle, avec un cadran à aiguille, correspondant par le moyen d'une ficelle avec les télescopes de son frère, et écrivant ses observations. Cette intelligence fraternelle appliquée aux Sciences abstraites, l'attention scrupuleuse de l'un et de l'autre, leur activité, leur constance dans le travail, des nuits consécutives passées à observer, sont de ces exemples rares, dont je m'applaudirai toute la vie d'avoir été le témoin.

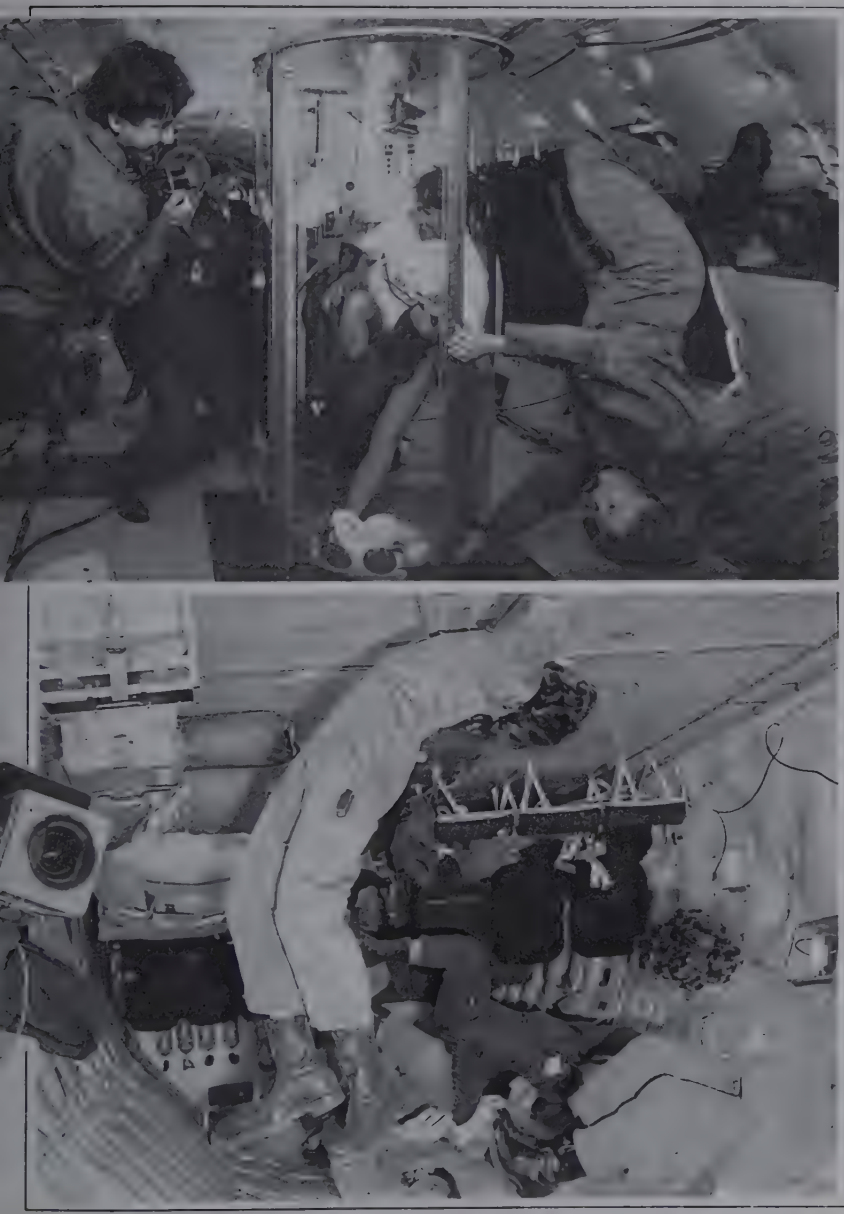
L'Observatoire de M. Herschel n'est point au-dessus de sa charmante maison de campagne, il a préféré de l'établir sur une base plus solide, en sorte qu'aucun mouvement ne fit vaciller ses superbes instruments. C'est dans un jardin qu'est l'Observatoire. L'on y voit le télescope à jamais mémorable avec lequel fut découverte la huitième planète, à qui M. Herschel donna le nom du roi d'Angleterre, mais que tous les savants de l'Europe débaptisèrent d'une voix unanime pour lui donner le nom immortalisé d'Herschel 2. Le télescope avec lequel j'ai eu le plaisir de faire des observations pendant deux heures, et de voir des étoiles colorées, a sept pieds de longueur sur 6 pouces 1/2 de diamètre. M. Herschel m'a assuré qu'avant de le porter à son dernier point de perfection il avait fondu et travaillé lui-même deux cents miroirs.

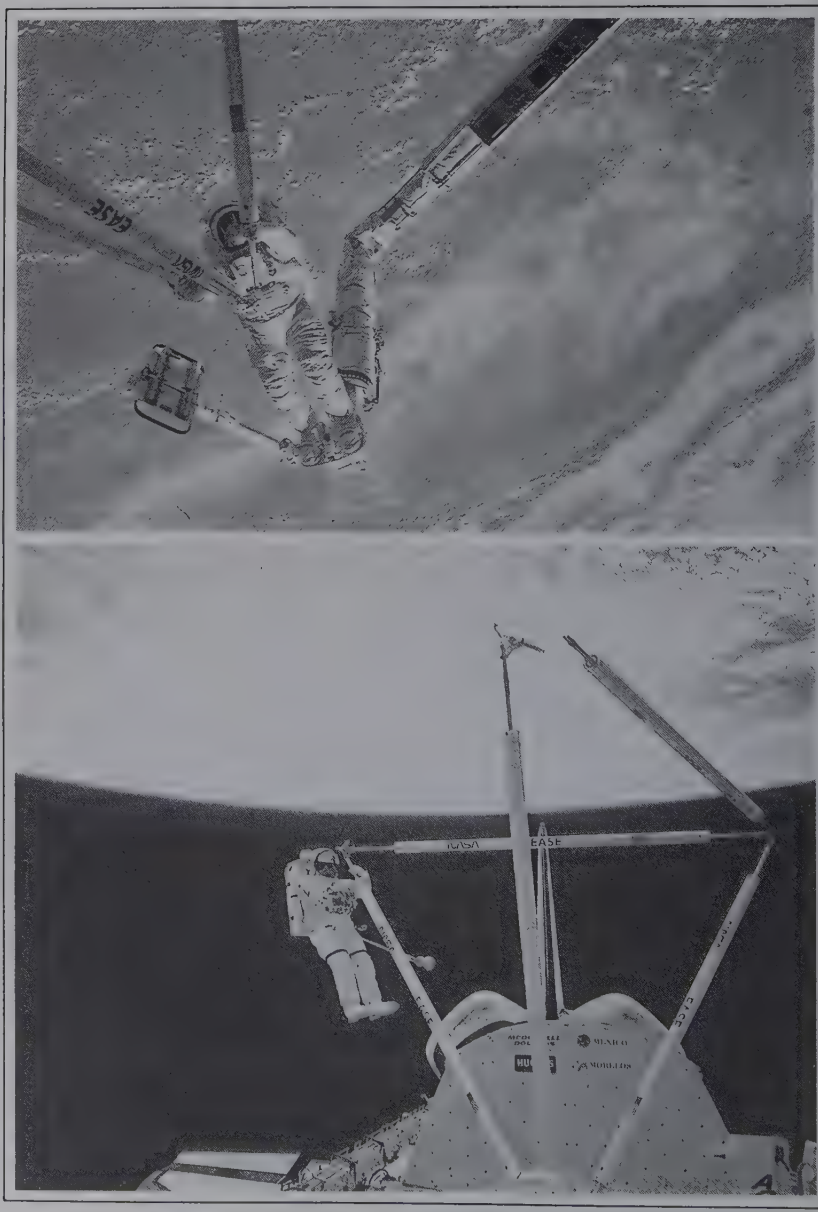
Ce télescope a pour pendant un télescope de 10 pieds, et deux autres de 20 pieds de largeur, dont l'un des deux a 18 pouces 3/4 anglais de diamètre. Le miroir de ce dernier pèse cent-cinquante livres. Cette énorme machine est montée sur une mécanique si simple et si commode qu'un enfant la fait mouvoir avec une facilité très singulière. Rien n'est aussi étonnant que cet observatoire en plein air. Lorsque

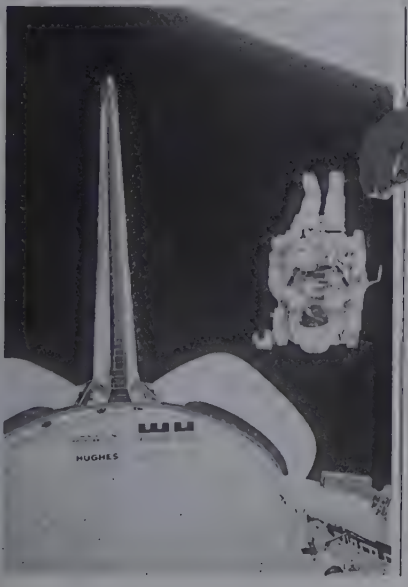
M. Herschel cherche par exemple une nébuleuse, ou une étoile de la dernière grandeur, il appelle du jardin sa sœur, qui se met sur-le-champ à la fenêtre, et qui consulte une des grandes tables manuscriptes, lui crie par la fenêtre, près de l'*étoile gamma*, vers *Orion* ou dans cette *constellation*, rien n'est en vérité aussi touchant, aussi aimable que cet accord et cette manière simple.

L'impesanteur : une chute interminable

Le cosmonaute qui « flotte » dans son vaisseau — ou dans le vide à côté de ce vaisseau — n'est pas du tout « sans poids », comme le mot « impesanteur » pourrait le laisser croire : il a, à peu de chose près, le même poids qu'au sol, c'est-à-dire que la Terre l'attire à peu près autant qu'un piéton ordinaire. Et comme il n'est soutenu par rien, il tombe, en chute libre. Seulement, il ne tombe pas comme la pomme, mais comme la Lune : sa vitesse horizontale est juste suffisante pour que la courbure de sa trajectoire sous l'effet de l'attraction terrestre lui fasse décrire un cercle, et le maintienne toujours à la même distance du centre, en état de chute permanente...




BASE
BASE


HUGHES

BIBLIOGRAPHIE

Couderc, *Histoire de l'astronomie*, P.U.F., Que sais-je ?
Flammarion C., *Astronomie populaire*, Flammarion.
La Cotardière Ph., *Dictionnaire de l'astronomie*, Larousse.
Levasseur-Rigoud A.C. et La Cotardière Ph., *Halley, le roman des comètes*, Denoël.
Pecker J.C., *La Nouvelle Astronomie*, Hachette.

Pour ceux que tente l'observation

Guide S.A.F. de l'astronome amateur, Société astronomique de France, 3, rue Beethoven, 75016 Paris.

Et pour ceux que tenterait une initiation aux calculs...

Meeus J., *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*, S.A.F.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

OUVERTURE

1/7 *Observations astronomiques*, peinture de C. Donato, Pinacothèque du Vatican.

CHAPITRE I

10 La maison de Newton à Wooldsthorpe, aquarelle, Royal Society, Londres.
11 Expérience de la lumière avec le prisme, gravure in *Mathematical Elements of Natural Philosophy*, Londres, 1747.
12 La peste à Londres en 1665, gravure, Magdalene College, Cambridge.
13h Page de titre de *Harmonia Mundi* de Kepler, Bibliothèque du Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris.
13b Page de titre des *Dialogues* de Galilée, Bibliothèque du Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris.
14 Effet d'optique de l'eau d'une cascade, aquarelle, Royal Society, Londres.
15 Phénomène d'arc-en-ciel observé au Pérou in *Relacion historica del Viage a la America Meridional*, Madrid, 1748, Bibliothèque de l'Institut, Paris.
16 *Portrait de Newton*, peinture, XIXe s., Académie des sciences, Paris.
17 Expérience avec le prisme montrant la décomposition des couleurs, gravure in *Mathematical Element of Natural Philosophy*, Londres, 1747.
18 Description de l'Univers, gravure, 1689, Bibliothèque des Arts décoratifs, Paris.
19 Newton et la pomme, chromolithographie, vers 1900.
20 Système solaire, XVIIIe s., Bibliothèque nationale, Paris.
21 Galilée présente au doge et au sénat vénitien la lunette astronomique, fresque, 1841, Florence.
22/23 Planisphère de Tycho Brahé, gravure in *Harmonia macrocosmi*, 1718.
24/25 Système de Copernic, gravure in *Harmonia macrocosmi*, 1718.
26 Schéma illustrant les tourbillons de Descartes, gravure, XVIIe s., Bibliothèque de Genève.
27 Descartes composant le système du monde, gravure, 1791, Bibl. nat., Paris.

CHAPITRE II

28 *L'Observatoire de Paris au XVIIe siècle*, peinture, Château de Bussy-Rabutin, Côte-d'Or.
29 *Etablissement de l'Académie des sciences* (détail), peinture de C. Lebrun, Château de Versailles.
30/31 *Etablissement de l'Académie des sciences, 1666, et fondation de l'Observatoire, 1667*, peinture de H. Testelin, Château de Versailles.
32h Dessin de l'horloge de Huyghens, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
32b Planche du micromètre d'Auzout, in *Mémoires de l'Académie des sciences*, Bibliothèque du Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris.
33 *Christian Huyghens*, peinture, Musée de Hofwyck, Olanda.
34 L'observatoire de Paris, gravure, XVIIIe s.
35h L'observatoire de Paris et la Tour de Marly au temps de Cassini, gravure, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
35b Etude des planètes, gravure in *Description de l'Univers*, 1683, Bibliothèque des Arts décoratifs, Paris.
36/37b La Méridienne de Paris, gravure, Académie des sciences, Paris.
37h « Carte de France corrigée par ordre du Roi sur les observations de Mrs de l'Académie des Sciences », gravure, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
38 *Portrait de Cassini*, peinture, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
39 L'observatoire de Tycho Brahé au Danemark, atlas de Blaeu, XVIIe s., Musée maritime de Rotterdam.
40 Instruments de Tycho Brahé, quatre gravures in *Astronomiae instauratae mechanica*, Venise, XVIIe s.
hg Sextant astronomique.
hd Demi-sphère.
bg Quadrant solaire.
bd Quadrant mobile.
41 L'observatoire de

Tycho Brahé, gravure in Atlas de Blaeu, « Les différents usages des secteurs ».
42/43 La mesure de la Terre de Jean Picard, 1671, gravure de Sébastien Leclerc, Bibliothèque du Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris.
44h Carte de l'île de Cayenne en Guyane, gravure, XVIIe s., Bibl. nat., Paris.
44b Vue de la rivière et de l'île de Cayenne, gravure, Bibliothèque des Arts décoratifs, Paris.
45 Page de titre des *Observations astronomiques* de Richer, XVIIe s.
46g L'observatoire de Roemer, gravure, XVIIIe s., Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
46d Portrait de Roemer, gravure, XVIIIe s.
47 Lunette méridienne de Roemer, gravure, XVIIIe s., Observatoire de Paris.

CHAPITRE III

48 Vue de Londres vers le sud-ouest, gravure colorée, Londres, XVIIIe s.
49 Le télescope de Newton, photographie, 1671, Royal Society, Londres.
50h Page de titre des *Philosophical Transactions*, 1666, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
51h Page de titre du *Journal des sçavans*, 1665, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
50/51b Trinity College, Cambridge, *Cantabrigia illustrata*, 1690.
52/53b La grande lunette de l'astronome Hevelius in *Machina Cælestis*, 1670.
53h Gravure extraite d'un recueil de télescopes, Bibl. nat., Paris.
54 Principe du télescope de James Gregory conçu en 1663, dessin. Nouvelle conception du télescope de Cassegrain, idem.
55 Dessin de Newton de son télescope, Royal Society, Londres.
56g Expérience de la lumière de Newton, gravure, XIXe s.
56d Décomposition de la lumière, photographie, Palais de la Découverte, Paris.
57 Leibniz, gravure, XVIIIe s.
58/59g *Queen's House from one Tree Hill*, peinture, 1680, National Maritime Museum of Greenwich, Londres.
59d *John Flamsteed*, peinture anonyme, vers 1680, National Portrait Gallery, Londres.
60h Magdalene College à Oxford, aquarelle de E. Dayes.
60/61b Observation astronomique, gravure, Bibl. nat., Paris.
62 Passage de diverses comètes, gravure, Bibliothèque des Arts décoratifs, Paris.
63 Passage d'une comète, gravure, Bibl. nat., Paris.
64 Représentation de la comète de 1664, gravure.
65h Dissertation sur la nature des comètes de Petit, gravure, 1665, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
65b Dessin de comètes de Hevelius, 1650, Bibliothèque de Genève.
66 La comète de Nuremberg en 1680, peinture, XIXe s.

CHAPITRE IV

68 *Newton*, peinture, 1726, National Portrait Gallery, Londres.
69 Expérience sur la force du vide in *Experimenta nova*, gravure, XVIIe s., Coll. part.
70h Carte de la lune de Mellan, gravure, XVIIe s., Bibl. nat., Paris.
70/71b Hémisphère septentrional pour voir plus distinctement les terres arctiques, 1714, gravure, XVIIIe s., Bibl. nat., Paris.
72 La comète apparue à Rome en 1680, gravure, XVIIIe s., Bibl. nat., Paris.
73 « L'Observation de la comète de 1682 à l'Observatoire Royal de Paris » par Cassini, gravure, XVIIe s., Bibl. nat., Paris.
74 La première édition des *Principia* de Newton, 1686, Bibliothèque de l'Institut, Paris.
75gg Les manuscrits de Newton des *Principia* avec ses corrections, Royal Society, Londres.
75d Une page des *Principia* de Newton, Bibliothèque de l'Institut, Paris.
76 Portrait de Edmond Halley par Richard Phillips, gravure, National Portrait Gallery, Londres.
77 *Un imprimeur* (détail d'une imprimerie), peinture, Coll. part.
78 Portrait de Samuel Pepys vers 1666, National Portrait Gallery, Londres.
79h *Une salle de café à Londres au XVIIIe siècle*, peinture, British Museum, Londres.
79b *Marine, clair de lune*, peinture de J. Vernet, Musée du Louvre, Paris.
80 Un système hydraulique, gravure, XVIe s.
81g Figures du *Traité de la pesanteur de l'air*, de Pascal, gravure, 1663.
81d Engin avançant grâce à un jet de vapeur, démonstration de la troisième loi de Newton « Action et réaction », par W. J.'s Gravesande in *Physics Elementa Mathematica*, gravure, XVIIIe s.

CHAPITRE V

82 La Terre, photographie prise par le satellite Meteosat de l'ESA.
83 Page de titre des *Philosophical Transactions*, XVIIIe s., Bibliothèque de l'Institut, Paris.
84 Page de titre de la première édition de *Optique* de Newton, 1704.
84d Portrait de Newton par A. Verrio, Burghley House, Stamford, Lincolnshire.
85g Figure du traité *Optique* de Newton, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
86h Pendule, gravure, XVIIIe s., Bibl. nat., Paris.
86/87b Vue de la base mesurée dans la plaine d'Yavouqui in *Journal de voyage de La Condamine au Pérou*,

gravure, XVIIIe s., Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
87h *Portrait de P. L. Moreau de Maupertuis*, peinture, 1743, Observatoire de Paris.
88 Vue de la maison de Corten-Niemi et de la montagne de Kittis, gravure in *Journal d'un voyage au Nord*, de l'abbé Outhier, 1744, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.
89 Renne attelé au petit traîneau, gravure in *Journal d'un voyage au Nord*, de l'abbé Outhier, 1744, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
90 Mesures de Bouguer au Pérou, in *La figure de la Terre*, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
91 Carte de la Méridienne de Quito, de La Condamine, « Mesure des trois premiers degrés du Méridien », Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
91d Carte du fleuve de Tornea in *Journal d'un voyage au Nord* de l'abbé Outhier, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
92 La comète de Halley en 1836, dessin de l'astronome Thomas Maclear, Royal Greenwich Observatory.
93 *L'Adoration des mages*, peinture de Giotto, Padoue.
93/94 Des astrologues montrent du doigt la comète, tapisserie de Bayeux, musée de Bayeux.
96/97 Phénomène céleste observé dans la ville de Carthagène en 1743, gravure, XVIIIe s., Musée Pouchkine, Moscou.
98 Pérégrination d'une comète, illustration de J. J. Grandville pour le livre *Les étoiles, féeries*, 1849, Bibl. nat., Paris.
99hg Dessin.
99hd La comète, dessin de Daumier, XIXe s., Coll. part.
99b La comète de Halley au-dessus du Bon Marché, image publicitaire, 1910, Coll. part.
100h *Portrait de Mme de Châtelet*, peinture d'après La Tour, Collection du marquis

de Breteuil.
100b Page de la traduction des *Principia* par Mme de Châtelet-Messier. Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
101 Carte de l'hémisphère boréal avec les trajectoires de la comète de 1682 par Messier, Bibliothèque de l'Observatoire, Paris.
102h Le passage de la comète de Halley en 1835, gravure, XIXe s.
102b La comète de Halley, photographie prise au Pérou le 21 avril 1910.
103 La comète de Halley, photographie prise en Australie le 24 avril 1986.
104d Table des constellations comptées dans les douze signes selon les Brames, gravure in *Voyage dans les mers de l'Inde entre 1761 et 1769* de Le Gentil, XVIIIe s.
104g La Nébuleuse d'Orion, le 27 mars 1774, par Messier in *Mémoires de l'académie*, Bibliothèque de l'Institut, Paris.
104g La Nébuleuse d'Orion, photographie de R. Royer.
106/107g Image composite d'Uranus, Ariel, Umbriel, Oberon, Titania et Miranda, faite à partir de photographies prises par « Voyager II » en 1986.
107h *Portrait de William Herschel*, peinture de W. Artaud, XIXe s., Royal Astronomical Society, Londres.
107b Le grand télescope de W. Herschel à l'observatoire de Slough, gravure, XIXe s.
108 Carte du système solaire montrant le trajet de la comète de Halley et les orbites de la planète, Londres, 1857.
109 *Portrait d'Urbain Le Verrier*, peinture de Giacomotti, Château de Versailles.
110 Le premier homme à se mouvoir sans lien dans l'espace, photo NASA.
111 « Impression d'artiste », Giotto, Saturne et le Soleil, photomontage, Science Photo Library.
112 La comète de

Halley, photo satellite parue en 1986, in *MPG-Pressebild.*

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS

114 Formation d'un arc-en-ciel par dispersion et réflection totale interne, gravure in *Mathematical Elements of Natural Philosophy confirmed by Experiments*, Londres, 1747.
115 L'optique de Newton, gravure, Observatoire de Paris.
116/117 *Idem.*
118 Dessin de la couverture de *Mesure des trois premiers degrés du méridien au-delà de l'équateur, seconde partie. Mesure astronomique de l'arc du méridien*, Observatoire de Paris.
119 Cabane de Lapons au milieu des sapins, gravure, Observatoire de Paris.
121 Astronome regardant le ciel à travers un télescope, gravure in *Almanach-America*, Bibliothèque du Congrès, Washington.
122 Monument élevé à la mémoire d'Isaac Newton dans l'abbaye de Westminster à Londres, gravure de Fittler d'après un dessin de Riley, 1794, Bibl. nat., Paris.
124 Projet de cénotaphe pour Newton par Delespine (en haut) et par Boullée (en bas), gravure, XIXe s.
127 Portrait de Voltaire, 1790, dessin, Bibl. nat., Paris.
131 *L'Observatoire de Paris*, peinture, XVIIIe s., National Maritime Museum, Londres.
132 *William Herschel*, peinture de J. Sharples, XVIIIe s., City of Bristol Museum.
133 *Astronomes*, peinture, anonyme, XVIIIe s., Bibl. nat., Paris.

INDEX

A

Académie des sciences 30, *30*, 31, 33, *33*, 35, 42, 55, *71*, 83, 85, 87, 101.
Accademia del cimento 30.
Alembert, d', 103.
Alexandrie 33.
Amas globulaire d'Hercule *76*, *101*.
Andromède, galaxie d', *101*, *104*.
Année merveilleuse, l' (« Annus Mirabilis »), 11, 70.
Antilles 45.
Arc de méridien 35.
Aristarque 42.
Aristote 13, 21, *80*.
Auzout 29, 31, 32, 33, 35.

B

Barrow 52.
Bath 105.
Bavière 31.
Bossuet *26*.
Bouger 87, *90*.
Brahé 23, 38, 39, *39*, *41*, 42, *46*, 61.
Buot 29.

C

Calcul différentiel 27, *57*.
Cambridge, université de, 11, 12, 49, 51, *51*, 52, 58, 67, 69, 76.
Camus 87, 90.
Cap-Vert 45, *71*.
Cassegrain *53*, 54.
Cassini, Jean-Dominique (Cassini I), *34*, 37, *38*, 43, 45, 60, 61, 72, 73, *75*.
Cassini IV *38*.
Cayenne 43, 45, *45*, 60, 71, 85.
Celsius, Anders, 89.
Charles II *59*, 60.
Châtelet 90.
Clairaut 87, 90, 100, 103.
Colbert 30, *30*, 31, 33, *33*, 36, *38*.
Comète de Halley 73, *73*, *92*, *93*, 103.
Constellation d'Orion *105*.
Copernic, 21, *25*.
Curieux de la Nature 31.

D

De Refractione (Della Porta) 13.
Descartes, 12, 15, 26, *26*, 34, 63, 81, 84, 85.
Dialogues (Descartes) 12, *13*.
Dioné 38.
Discours au roi sur les marées (Halley) 78, 80.
Dissertation sur la nature des comètes (Petit) 63, *65*.

E - F

Edit de Nantes *33*.
Figure de la Terre, La (Bouguer, Maupertuis), *90*.
Flamsteed 55, *59*, 60, 72, *75*.
Fontenelle 84.
Frenicle 29.
Frisius 34.

G

Galilée 12, *13*, 18, 21, *21*, *26*, 32, *33*, *41*, 45, 46, *75*, *80*, *105*.
Gassendi 30, 35.
Géométrie 12.
Giotto *93*, *103*.
Grande Nébuleuse, la, *104*, *105*.
Greenwich, méridien de, *58*.
Gregory 54, 55.

H

Halley 59, 60, 64, 65, 66, 69, 70, 74, 76, *76*, 77, 78, 80, 81, *83*, 85, 93, 100, 103, 104.
Herschel *25*, 104, *104*, 105, *105*.
Hévélius 55, 60, 61, *64*.
Hipparque 42.
Hobbes 30.
Hooke 57, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 74, 80, 86.
Horloge à pendule 31.
Horloge mécanique 32.

J - K

Japet 38.
Journal des Sçavans 51, 81.
Jupiter 20, 37, *38*, 39, 45, 46, 75.
Juvisy 36.
Kepler 12, 21, 26, 39, *41*, 61, 65, 70.
Kittis 89, *89*.

L

Lacaille 36, 103, 104.
La Condamine 87.
La Hire *36*.
Lalande 100.
Laponie *86*, 87, 89, 90, *90*, 100, 103.
Le Gentil 100, 101.
Leibniz *57*, 58, 74, 80.
Le Monnier 87, 103.
Léopold Ier 31.
Lepaute, Hortense, 100, 101.
Lettres anglaises (Voltaire) 85, 100.
Louis XIV *30*, 31, 33, *34*, *36*, *60*.

M

Magdalen College *60*.
Malebranche 84.
Mars 42.
Maupertuis *86*, 87, *87*, 89, *89*, 90, *90*.
Mécanique du pendule *(Orologium osiellatorium)* 59.
Médicis, Léopold de, 31.
Méridien de Paris 33.
Mersenne 30.
Messier 101.
Micromètre d'Auzout 32, *32*, 35, 36.

N - O - P

Niemi *88*.
Nuremberg *64*, *66*.
Observatoire de Paris 29, *29*, *30*, 33, *34*, 36, *38*, 42, 45, *58*, 60, 72, *73*, 100.
Observatoire de Greenwich 59, 60.
Oldenbourg 50, 55, 56, 57, 58.
Optique (Newton) 84, *85*.
Outhier *88*, 89.
Oxford 60, *60*, 76.
Parménide *21*.
Pascal 30, *80*.
Pendule régulateur 32, *71*, 74, 86.
Pepys *75*, 78, *78*.
Pérou *86*, 87, 90.
Petit 63, *65*.
Philosophical Transactions of the Royal Society 50, 51, *51*, 56, 77.
Picard 29, 31, 35, 36, *36*, 38, 42, *43*, 45, *46*, 56, 71, *71*, 86, 89, 90.
Platon 21.
Principia mathematica philosophiae naturalis (Newton) 74, *74*, *75*, 76, *76*, 77, 78, 80, 81.
Ptolémée *23*.

Q - R

Quito *90*.
Réaumur 90.
Rhéa 38, 75.
Richer 29, 38, *38*, 43, 45, *45*, 46, 60, *71*, 85.
Roberval 30, 31.
Rœmer 42, 45, 46, *46*.
Royal Society 31, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 60, 69, 74, 75, 76, 78, 80.

S - T - U

Sainte-Hélène 60, 85.
Saturne 20, 31, *33*, 38, *38*, *64*, 75.
Snell 34.
Télescope de Newton 49, 51, 52, *53*, 54, *54*, *55*, 59.
Téthys 38.
Théorie ondulatoire 85.
Thévenot 30.
Titan 20, *75*.
Toricelli *80*, 81.
Tornéa 89, 90, *90*.
Tour de Marly *34*.
Traité (Kepler), *13*.
Trinity College 12, 58.
Uraniborg 39, *39*, *46*.
Uranoscope 29.
Uranus *25*.

V - W

Vénus *38*, 100, 101.
Voltaire 85, 100.
Woolsthorpe 12, *17*, 18, 20, 32.

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Ann Ronan Picture Library 11, 17, 56g, 81, 84g, 108, 114. Archives Gallimard 13, 15, 32b, 54, 74, 75d, 83, 85, 100b. Artephot 22/23, 24, 25, 33, 107h. Bibl. nat. 42, 43, 53h, 60b, 61, 63h, 63b, 72, 86h, 122, 124, 127. Bridgeman-Giraudon 79h. Bridgeman Art Library 12, 49, 60h, 84d, 132. British Museum, Bulloz 77. Charmet 16, 18, 19, 27, 35b, 44h, 44b, 62, 98, 99, 124h, 124b, 132. Cosmos, SPL 82, 92, 102b, 103, 105, 106/107g, 110, 134, 135, 136, 137. Dagli-Orti 21, 39, 41. Droits réservés 10, 14, 24, 49, 50b/51b, 55, 75g. Edimedia 48, 70h, 96/97. E.T. Archives 121. Explorer-Archives 26, 64b, 65b, 69. Giraudon 52, 93. Lauros-Giraudon 20, 28, 29, 70b, 71, 100h, 109. MPG-Pressebild 112, 113. NASA/Pix 111, 135. National Maritime Museum Greenwich 58, 59g. National Portrait Gallery 59d, 68, 76, 78. Observatoire de Paris 32h, 34, 35h, 36/37, 38, 46, 47, 50h, 51h, 65h, 86b, 87h, 87b, 89, 90, 91, 101, 115, 116, 117, 118, 119. Palais de la découverte 56d. Réunion des musées nationaux 30/31, 79b. Roger-Viollet 40h, 40b, 57. Tapabor 64h, 66/67, 94/95, 99, 107b. Viollet 80g, 80d.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Royal Society pour sa précieuse collaboration, Keith Moore de la Royal Society, ainsi qu'Eileen Tweedy.

COLLABORATEURS EXTÉRIEURS

La maquette de cet ouvrage a été réalisée par Vincent Lever qui a fait aussi les mises en couleurs ; la lecture-correction a été assurée par Béatrice Peyret-Vignals ; la recherche iconographique a été faite par Pierre Philippon.

Table des matières

I LES VACANCES D'ISAAC NEWTON

12 Les premières années
14 Toutes les couleurs
16 Le soleil et le prisme
18 La Lune et la pomme
20 Copernic, Kepler, Galilée
22 *Le système de Tycho*
24 *Le système de Copernic*
26 La naissance de la gravitation

II LA NAISSANCE DE L'ASTRONOMIE MODERNE

30 L'Académie des sciences
32 L'astronomie devient précise
34 Un observatoire moderne
36 Picard mesure la Terre
38 Sur les traces de Tycho
40 Le prix de la précision
42 La mesure du système solaire
44 Les fantaisies du pendule
46 La vitesse de la lumière

III DU TÉLESCOPE À LA GRAVITATION

50 Les premières revues scientifiques
52 Lunette ou télescope ?
54 Le premier télescope
56 Une publication retentissante
58 Newton s'enferme à Cambridge
60 Les débuts d'Edmond Halley
62 Le problème des comètes
64 Tâtonnements vers la gravitation
66 ... Grâce à la comète

IV L'ATTRACTION UNIVERSELLE, ENFIN !

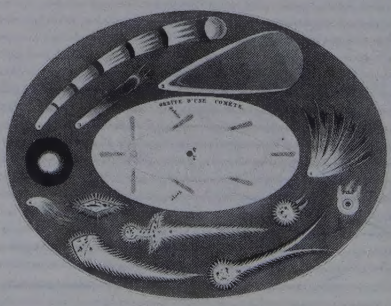
70 Les dimensions de la Terre
72 Newton revient à l'astronomie
74 Halley persuade Newton de publier
76 Les *Principia* paraissent enfin
78 Un public enthousiaste
80 Le problème de l'action à distance

V DE TRIOMPHE EN TRIOMPHE

84 Les enjeux du XVIIIe siècle
86 La Terre est-elle aplatie ?
88 Maupertuis en Laponie
90 Newton avait raison
92 La comète reviendra-t-elle ?
96 *La saga des comètes*
100 Les calculs d'Hortense Lepaute
102 La comète au rendez-vous
104 Les nuits de William Herschel
106 Des septuplés pour le Soleil
108 Une planète désobéissante
110 Silence dans l'azur

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS

114 « Les épaules des géants »
118 La Laponie au jour le jour
120 Richer à Cayenne
122 Le portrait de Newton par Fontenelle
126 Descartes et Newton vus par Voltaire en 1728
130 Une visite chez Herschel
134 L'impesanteur : une chute interminable



DANS LA MÊME COLLECTION :

1/ A LA RECHERCHE DE L'ÉGYPTE OUBLIÉE
2/ VIE ET MORT DES BALEINES
3/ LA SAGA DE L'ESPACE
4/ PICASSO
5/ A LA CONQUÊTE DU MONT BLANC
6/ LA LONGUE MARCHE VERS LA CHINE MODERNE
7/ GOYA D'OR ET DE SANG
8/ BLANCS ET BLEUS DANS LA VENDÉE DÉCHIRÉE
9/ VERDI
10/ GALILÉE, LE MESSAGER DES ÉTOILES
11/ ESCLAVES ET NÉGRIERS
12/ ALEXANDRE DUMAS OU LES AVENTURES D'UN ROMANCIER
13/ LES VIKINGS ROIS DES MERS
14/ LA TERRE DES PEAUX-ROUGES
15/ LE GRAND DÉFI DES PÔLES
16/ POMPÉI, LA CITÉ ENSEVELIE
17/ VAN GOGH, LE SOLEIL EN FACE
18/ ANDRÉ MALRAUX
19/ LES FOSSILES, EMPREINTE DES MONDES DISPARUS
20/ LES CITÉS PERDUES DES MAYAS
21/ SUR DES MERS INCONNUES
22/ MAHOMET
23/ MONTAIGNE
24/ L'ÉCRITURE, MÉMOIRE DES HOMMES
25/ VERS L'OUEST, UN NOUVEAU MONDE
26/ LE CIEL, ORDRE ET DÉSORDRE
27/ DE LA GRÈCE À L'ORIENT, ALEXANDRE LE GRAND
28/ ENTRE CIEL ET MER, LE MONT-SAINT-MICHEL
29/ BRÉSIL
30/ GLOIRE ET MISÈRE DES GALÈRES
31/ L'HOMME RÉPARÉ
32/ LE SANG ET LES HOMMES
33/ LE DESTIN BRISÉ DE L'EMPIRE AZTÈQUE
34/ LA FIÈVRE DE L'OR
35/ CINÉMATOGRAPHE, INVENTION DU SIÈCLE
36/ DEGAS
37/ LES INCAS
38/ DES DIEUX REGARDENT LES ÉTOILES. LES SECRETS DE L'ÎLE DE PÂQUES
39/ RICHARD WAGNER
40/ L'AMAZONE, UN GÉANT BLESSÉ
41/ MOZART
42/ A VOS PLUMES, CITOYENS!
43/ L'HISTOIRE VRAIE DES MUTINS DE LA BOUNTY
44/ RODIN
45/ SOUS LE PAVILLON NOIR, PIRATES ET FLIBUSTIERS
46/ DAVID
47/ LES ARCHITECTES DE LA LIBERTÉ
48/ LA RÉVOLUTION DES SAVANTS
49/ GAUGUIN
50/ GANDHI
51/ BERLIOZ
52/ COMMENT LA TERRE DEVINT RONDE
53/ MARCO POLO
54/ VILLA, ZAPATA ET LE MEXIQUE EN FEU
55/ CÉZANNE
56/ À LA RECHERCHE DE LA ROME ANTIQUE
57/ LES SORCIÈRES
58/ LITTÉRATURES ET CLASSICISME AU SIÈCLE DE LOUIS XIV
59/ LE TRIOMPHE DES ARCS
60/ MÉMOIRES DU LOUVRE
61/ VERSAILLES
62/ LA TOUR DE MONSIEUR EIFFEL
63/ QUAND LES GAULOIS ÉTAIENT ROMAINS
64/ ANGKOR
65/ VOLTAIRE
66/ L'HOMME QUI CROYAIT EN L'HOMME. VIE DE JEAN-JACQUES ROUSSEAU
67/ LANGAGE DES SIGNES, L'ÉCRITURE ET SON DOUBLE
68/ CARPEAUX
69/ LE MONDE PERDU DES DINOSAURES
70/ "CHAPEAU BAS, MESSIEURS, UN GÉNIE". FRÉDÉRIC CHOPIN
71/ LE DERNIER EXIL. HISTOIRE DES BAGNES ET DES FORÇATS
72/ L'HISTOIRE A LA UNE. LA GRANDE AVENTURE DE LA PRESSE
73/ VÉLAZQUEZ
74/ LA LITTÉRATURE, DES GUERRES DE RELIGION A LA FRONDE
75/ LES PAQUEBOTS
76/ REMBRANDT
77/ LES TEMPLES DE L'OPÉRA
78/ DANS LA NUIT DES ABYSSES
79/ SIGMUND FREUD
80/ LITTÉRATURES DE LA RENAISSANCE
81/ LA SAGA DU TOUR DE FRANCE
82/ LES GLADIATEURS DU NOUVEAU MONDE
83/ LA BALLE AU PIED, HISTOIRE DU FOOTBALL
84/ LA GRÈCE ANTIQUE
85/ NOUVELLE-CALÉDONIE
86/ LA NAISSANCE DE LA GRÈCE
87/ NI EMPEREUR NI ROI : CHEF D'ORCHESTRE
88/ LA BIBLIOTHÈQUE NATIONALE
89/ LES ÉTRUSQUES
90/ WILLIAM PENN ET LES QUAKERS
91/ NEWTON
92/ LA GRENOUILLE DANS TOUS SES ÉTATS
93/ LES ÉLÉPHANTS
94/ LE FAUCON
95/ LE RÊVE CISTERCIEN

Il n'est pas de plus belle consécration
pour une découverte universelle
que sa banalisation :
Newton et sa célèbre pomme en témoignent.
Par une douce soirée d'automne,
un pommier dans la campagne anglaise,
un coup de vent, un coup de génie...
Isaac Newton, le plus grand astronome
de l'histoire, invente le télescope,
comprend la nature de la lumière et explique
l'attraction universelle.
Il eut ses admirateurs, il eut ses détracteurs.
De grands astronomes furent ses
contemporains. Newton fut en son temps la
planète phare autour de laquelle gravitèrent les
plus beaux satellites du ciel de l'astronomie.

A 53116 ISBN : 2-07-053116-3
catégorie 4
9 782070 531165